C. D. U. 624.131.25 : 539.22
624.131.25 : 539.32

ANISOTROPIA DAS ROCHAS (*)
SUPERFÍCIES MAIS PROVÁVEIS DAS TENSÕES DE ROTURA E DOS MÓDULSO DE ELASTICIDADE

por F. PERES RODRIGUES
Engenheiro Civil, Especialista do Serviço de Barragens, Chefe da Divisão de Fundações e Túneis do LNEC

RESUMO

A presente publicação estuda a anisotropia das rochas, em geral, no que se refere às tensões de rotura e aos módulos de elasticidade. Apresenta as superfícies definidoras dessa anisotropia, assemelhando-as a quárticas fechadas, induzidas a partir de resultados experimentais obtidos em doze direcções. Define quatro coeficientes de anisotropia, apresentando o seu significado físico e interesse prático. Aplica esta teoria a quatro tipos de rochas salientando a sua razoável concordância.

SYNOPSIS

This paper studies the anisotropy of rocks, in general, with respect to the ultimate stresses and moduli of elasticity. It presents the defining surfaces of that anisotropy and compares the closed quartics induced from experimental results obtained in twelve directions. It also defines four anisotropy ratios, presenting their physical significance and practical interest. Finally, the paper applies this theory to four types of rock pointing to its reasonable concordance.

I — INTRODUÇÃO

O estudo da anisotropia das tensões de rotura e dos módulos de elasticidade realizado há 4 anos em relação às rochas eruptivas, tipo granito [1], foi alargado, nesta publicação, às rochas sedimentares e metamórficas, tipo xisto e micaxisto.

As expressões cartesianas de 4.ª ordem, induzidas a partir dos resultados experimentais, conduziram a desvios-padrão e coeficientes de variação idênticos aos que se obtiveram quando se utilizaram as expressões de 8.ª ordem, mais completas portanto, deduzidas para os corpos anisotrópicos com base na teoria matemática da elasticidade [2] e [3].

As hipóteses formuladas para a particularização da lei do Hooke generalizada, se se podem considerar válidas quando aplicadas aos cristais, poderão apresentar algumas objecções quando se pretende estender a sua aplicação às rochas. Na verdade, as rochas sendo constituídas por várias substâncias, amorfas ou cristalizando em sistemas diferentes, com eixos e planos de simetria, aleatòricamente dispostos no espaço, não poderão, em rigor, assemelhar-se a um tipo único de anisotropia. Antes, serão um conjunto de várias substâncias de diversos tipos de anisotropia, cujas influências ponderadas deverão levar a uma anisotropia representada por superfícies mais adoçadas e que matemàticamente se poderão traduzir por expressões matemáticas de ordem inferior. Foi com a aceitação prévia desta hipótese que se escreveu a presente publicação.

Pensa-se que tudo o que se segue poderá ser aplicado aos maciços rochosos, pois que, tal como se verificou em [1] os efeitos de escala, ao passar da rocha para o maciço rochoso, se poderão traduzir por correlações do tipo linear.

II — QUÁRTICAS DE ANISOTROPIA MAIS PROVÁVEIS

Considere-se uma superfície de 4.ª ordem, quártica, admitindo três planos de simetria ortogonais, e portanto um centro e três eixos de simetria também ortogonais, de um dos quais se conheça a direcção Oz.

Esta direcção, na prática, é geralmente materializada pela normal à xistosidade ou foliação, ou à sedimentação exibida pelas rochas.

A quártica, referida a um sistema de eixos triortogonais, um dos quais seja paralelo à direcção Oz, é definida pela equação matricial:

$$[x\ y\ z]\begin{bmatrix} A & H & 0 \\ H & B & 0 \\ 0 & 0 & C \end{bmatrix}\begin{bmatrix} x \\ y \\ z \end{bmatrix} + [x^2\ y^2\ z^2]\begin{bmatrix} I & D & E \\ D & I & F \\ E & F & 0 \end{bmatrix}\begin{bmatrix} x^2 \\ y^2 \\ z^2 \end{bmatrix} + [xy\ (y^2 - x^2)\ z^2]\begin{bmatrix} 0 & J & G \\ J & 0 & 0 \\ G & 0 & 0 \end{bmatrix}\begin{bmatrix} x\ y \\ y^2 - x^2 \\ z^2 \end{bmatrix} = 1 \qquad (1)$$

(*) Trabalho apresentado em inglês no 2.º Congresso da Sociedade Internacional de Mecânica das Rochas, Belgrado, Setembro de 1970.

Artigo recebido em 11-2-1971.

obedecendo os seus coeficientes às três relações:

$$\begin{aligned} G\ (A-B) &= 2H\ (E-F) \\ HJ &= I\ (A-B) \\ J^2 &= 2I\ (D+I) \end{aligned} \qquad (2)$$

Rode-se a quártica (1) em torno do seu eixo Oz, de um ângulo θ de forma a coincidir o novo sistema triortogonal de referência OXYZ com os seus eixos de simetria, mediante o operador:

$$R = \begin{bmatrix} \cos\theta & \operatorname{sen}\theta & 0 \\ -\operatorname{sen}\theta & \cos\theta & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \qquad (3)$$

sendo:

$$\operatorname{tg} 2\theta = \frac{2H}{A-B} = \frac{G}{E-F} = \frac{2I}{J} \qquad (4)$$

igualdades que resultam das duas primeiras relações (2).

Após esta rotação a equação matricial da quártica (1) toma a forma normal:

$$[X\ Y\ Z]\begin{bmatrix} a & 0 & 0 \\ 0 & b & 0 \\ 0 & 0 & c \end{bmatrix}\begin{bmatrix} X \\ Y \\ Z \end{bmatrix} + [X^2\ Y^2\ Z^2]\begin{bmatrix} 0 & d & e \\ d & 0 & f \\ e & f & 0 \end{bmatrix}\begin{bmatrix} X^2 \\ Y^2 \\ Z^2 \end{bmatrix} = 1 \qquad (5)$$

em que os coeficientes das expressões (1) e (5) estão ligados pelas relações:

$$\begin{cases} a = A\cos^2\theta + B\operatorname{sen}^2\theta + H\operatorname{sen} 2\theta \\ b = A\operatorname{sen}^2\theta + B\cos^2\theta - H\operatorname{sen} 2\theta \\ c = C \\ d = D + 3I \\ e = E\cos^2\theta + F\operatorname{sen}^2\theta + G\operatorname{sen}\theta\cos\theta \\ f = E\operatorname{sen}^2\theta + F\cos^2\theta - G\operatorname{sen}\theta\cos\theta \end{cases} \qquad (6)$$

As primeiras matrizes, de 2.ª ordem, das expressões (1) e (5), definem, relativamente à rocha, a sua anisotropia de massa proveniente de uma alteração diferencial ou de uma heterogeneidade estrutural. As segundas matrizes, de 4.ª ordem, são responsáveis pela anisotropia resultante da existência de um ou mais feixes de planos paralelos de acentuada variação das características em estudo, materializada na prática pela xistosidade ou foliação e sedimentação das rochas. O significado da terceira matriz da expressão (1) é puramente geométrico e anula-se em (5) pela rotação definida em (3) e (4).

A quártica (5), desde que os seus coeficientes sejam todos positivos, goza, entre outras, das seguintes propriedades:

a) admite um centro, três eixos e três planos triortogonais, de simetria;

b) é uma superfície fechada;

c) é inscrita no elipsóide $\{e\}$ definido pela 1.ª matriz de (5);

d) degenera no elipsóide $\{e\}$ quando os coeficientes d, e e f se anulam;

e) tende para os eixos do elipsóide $\{e\}$ quando os coeficientes d, e e f tendem para infinito.

A propriedade d) mostra que a anisotropia, tipo elipsóide, das rochas eruptivas [1] e [4] é um caso particular desta anisotropia, tipo quártica fechada, das rochas sedimentares e metamórficas. Igualmente a isotropia é um caso particular de (5), quando:

$$\begin{aligned} a &= b = c \\ d &= e = f = 0 \end{aligned} \qquad (7)$$

Nas rochas estudadas, verificou-se que a influência da xistosidade ou foliação na anisotropia era dominante em relação à sedimentação, pelo que, nos planos de xistosidade a anisotropia obtida foi do tipo elíptico, o que conduziu à anulação dos coeficientes D e I na expressão (1) e consequentemente de d na expressão (5). Neste caso particular, a quártica assume, em coordenadas cartesianas e em coordenadas polares, respectivamente, as formas:

$$\frac{X^2}{l^2} + \frac{Y^2}{m^2} + \frac{Z^2}{n^2} + \frac{X^2Z^2}{p^4} + \frac{Y^2Z^2}{q^4} = 1 \qquad (8)$$

$$\rho^4\left(\frac{\cos^2\alpha}{p^4} + \frac{\operatorname{sen}^2\alpha}{q^4}\right)\cos^2\varphi\operatorname{sen}^2\varphi + \rho^2\left[\left(\frac{\cos^2\alpha}{l^2} + \frac{\operatorname{sen}^2\alpha}{m^2} - \frac{1}{n^2}\right)\cos^2\varphi + \frac{1}{n^2}\right] = 1 \qquad (9)$$

com:

$$\begin{cases} a\,l^2 = 1 \quad bm^2 = 1 \quad cn^2 = 1 \\ 2ep^4 = 1 \quad 2fq^4 = 1 \end{cases}$$

$$\begin{cases} \rho^2 = X^2 + Y^2 + Z^2 \\ Z = \rho\operatorname{sen}\varphi \quad Y = \rho\cos\varphi\ \operatorname{sen}\alpha \end{cases} \qquad (10)$$

A quártica (8), caso particular da quártica (5), goza, além das propriedades enunciadas para esta, das propriedades:

a) é interceptada por elipses segundo planos normais ao eixo dos Z;

b) tende para o eixo dos Z e para a elipse existente no plano XOY, quando os coeficientes p e q tendem para zero.

Na figura 1 representa-se, apenas no 1.º octante, a forma quártica (5) para o caso de os seus coeficientes serem todos positivos.

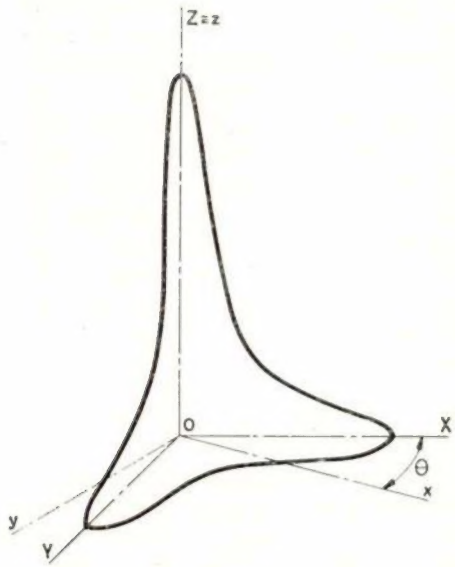


Fig. 1

Para a completa definição da anisotropia definida pela quártica (1), caso mais geral considerado, é necessária a determinação dos valores da característica em estudo segundo sete direcções, tantas quantos os coeficientes independentes da quártica. A sua determinação em doze direcções (fig. 2), superabundante, permite a aplicação de um método estatístico, por exemplo o método dos mínimos quadrados, ao cálculo dos valores mais prováveis dos coeficientes da quártica. Todos estes cálculos costumam ser efectuados utilizando computadores electrónicos.

III – COEFICIENTES DE ANISOTROPIA

Com base neste estudo é possível estabelecer alguns coeficientes definidores dos diversos tipos de anisotropia resultantes quer da heterogeneidade mássica da própria rocha, representada pela primeira matriz de (1) e (5), quer pela xistosidade ou foliação, e sedimentação, representada pela segunda matriz de (1) e (5).

O coeficiente de anisotropia de massa a_m será definido pela relação entre o raio R da esfera que circunscreve a quártica e o raio R_e da esfera de volume igual ao do elipsóide definido pela primeira matriz de (1) e (5).

A esfera que circunscreve a quártica representará, relativamente à característica estudada, o corpo homogénio o isótropo ideal, isto é, o corpo que possuísse o melhor aproveitamento da característica em estudo. Assim, o coeficiente de anisotropia de massa a_m será dado por:

$$a_m = \frac{R}{R_e} \qquad (11)$$

O coeficiente de anisotropia de superfície a_s será definido pela relação entre o raio R_e da esfera de volume igual ao do elipsóide acima definido e o raio R_q da esfera de volume igual ao da quártica, ou seja:

$$a_s = \frac{R_e}{R_q} \qquad (12)$$

e dá uma ideia da redução média do valor da característica em estudo, resultante do aparecimento da xistosidade ou foliação e sedimentação, em relação a um corpo que possuísse a mesma anisotropia de massa.

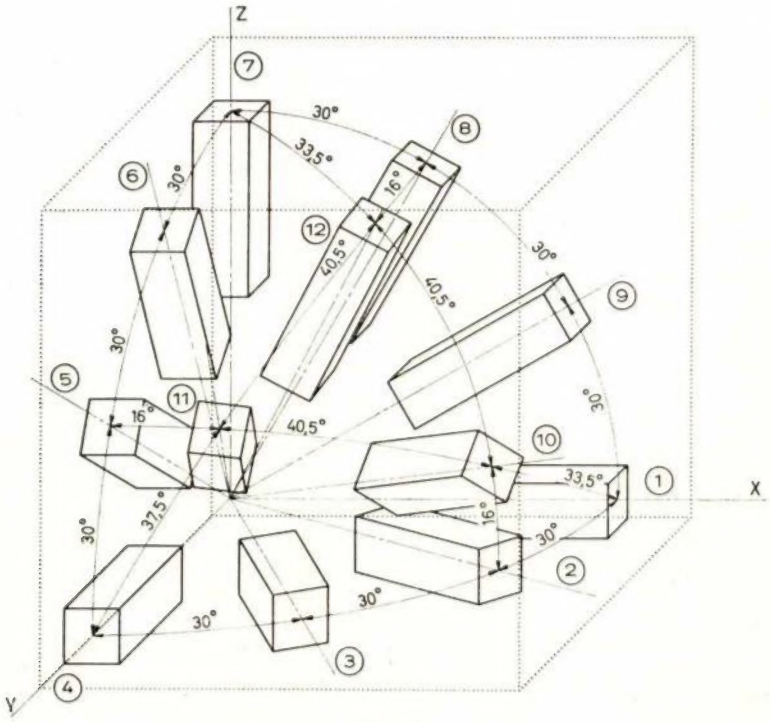


Fig. 2

O coeficiente de anisotropia total a_t será definido pela relação dos raios R e R_q atrás definidos, pelo que se verifica ser igual ao produto dos coeficientes de anisotropia de massa e de superfície, isto é:

$$a_t = \frac{R}{R_q} = a_m \cdot a_s \qquad (13)$$

Se a anisotropia for do tipo elipsóide, os seus coeficientes de anisotropia de massa e total serão iguais, por ser neste caso a_s igual a 1.

Finalmente o coeficiente de anisotropia máxima a_M será definido pela relação entre os raios R e r das esferas circunscritas e inscritas à superfície definidora da anisotropia, ou seja:

$$a_M = \frac{R}{r} \qquad (14)$$

Se a anisotropia for do tipo elipsóide, o coeficiente de anisotropia máxima será dado pela relação dos semieixos maior e menor do elipsóide.

Nos exemplos de aplicação que se irão apresentar adiante, as quárticas representativas da anisotropia das tensões de rotura σ_{ult} e dos módulos de elasticidade E, são do tipo indicado em (7) e (8), isto é, apresentam uma anisotropia tipo elipse no plano da xistosidade ou foliação (fig. 3). Neste caso o volume V_q da quártica (7), necessário para a determinação de R_q será dado por:

$$V_q = 2\pi \int_0^n \frac{\left(1 - \frac{Z^2}{n^2}\right) dZ}{\sqrt{\left(\frac{1}{l^2} + \frac{Z^2}{p^4}\right)\left(\frac{1}{m^2} + \frac{Z^2}{q^4}\right)}} \qquad (15)$$

Este integral, sendo de tipo elíptico, poderá ser calculado por integração de uma ou mais séries que sejam uniformemente convergentes dentro de intervalos parciais cobrindo o intervalo (0; n) de integração, ou pela soma de um número discreto de parcelas correspondentes a volumes limitados por planos paralelos ao plano XOY.

O interesse da definição destes coeficientes de anisotropia dados pela relação de raios e não de volumes, reside no facto de se poder assim estender a sua aplicação ao estudo da anisotropia em planos, como, por exemplo, o estudo de anisotropia realizado em furos de sondagem com o dilatómetro, etc.

IV — EQUIPAMENTO E TÉCNICAS DE ENSAIO

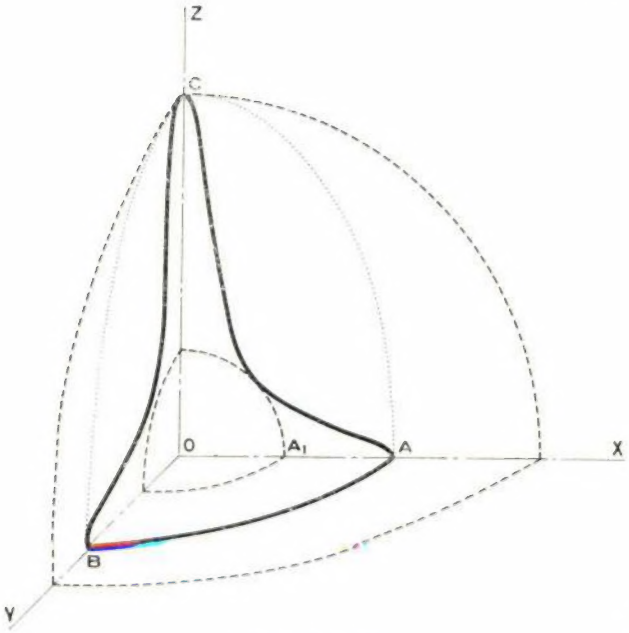
O estudo da anisotropia, em laboratório, dos módulos de elasticidade, E, e das tensões de rotura, σ_{ult}, foi efectuado sobre blocos de rocha com as dimensões aproximadas de 50 × 50 × 50 cm³, extraídos de diversos locais. A extracção de cada bloco foi feita de modo a conhecer-se a sua orientação relativamente ao maciço rochoso.

As quatro rochas estudadas foram classificadas em: xisto muito alterado, xisto pouco alterado, xisto são e micaxisto com biotite.

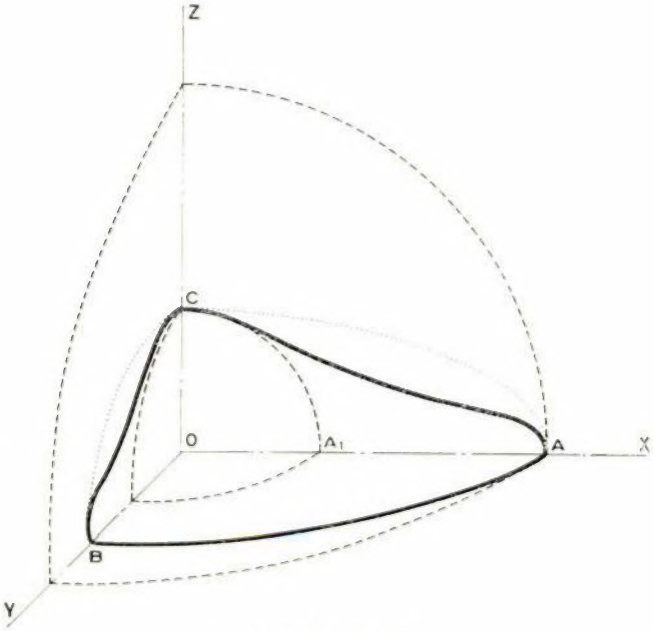
De cada bloco foram cortados doze prismas com as dimensões aproximadas de 5 × 5 × 15 cm³, cujas posições nos blocos se indicam na figura 2.

Os topos dos prismas foram rectificados por meio de uma pequena camada de pasta de cimento de presa rápida.

As medições das deformações foram efectuadas com extensómetros eléctricos tipo Shinkoh, por meio de um indicador Baldwin SR-4 tipo N.



Quártica dos σ_{ult}



Quártica dos E

Fig. 3

Fez-se um ciclo de carga e descarga, até à tensão máxima de compressão de 100 kgf/cm^2, seguido de um repouso de 15 minutos, tempo suficiente para que se atingisse a estabilização aparente das deformações. Em seguida iniciou-se novo ciclo de carga até à rotura franca do prisma.

Determinaram-se, assim, para cada prisma, o módulo de elasticidade secante E para a tensão de 100 kgf/cm^2 e a tensão de rotura franca σ_{ult}.

V — RESULTADOS OBTIDOS E SUA ANÁLISE

A aplicação do que se acaba de expor a quatro tipos de rochas sedimentares e metamórficas conduziu aos resultados apresentados nas figuras 4, 6, 8 e 10 e quadro I, para a anisotropia das tensões de rotura, σ_{ult}, e aos resultados apresentados nas figuras 5, 7, 9 e 11 e quadro II, para a anisotropia dos correspondentes módulos de elasticidade E.

QUADRO I

ANISOTROPIA DAS TENSÕES DE ROTURA (kgf/cm^2)

Tipo de rocha		Fig. n.º	Semieixos da quártica			Ângulo xÔX (°)	Coeficientes de anisotropia				Coef. de variação (%)
			l	m	n		de superfície a_S	de massa a_V	Total a_t	Máxima a_M	
Xisto	Muito alterado	4	149	256	600	+ 38	1,87	3,31	6,20	6,76	14,6
Xisto	Pouco alterado	6	501	380	650	+ 55	1,30	2,04	2,65	4,35	14,3
Xisto	São	8	424	701	1000	+ 43	1,50	1,33	2,00	2,70	21,1
Micaxisto com biotite		10	1008	1347	1350	+ 31	1,14	1,12	1,28	1,47	7,2
Valores médios							1,45	1,95	3,03	3,82	14,3

QUADRO II

ANISOTROPIA DOS MÓDULOS DE ELASTICIDADE
(10^3 kgf/cm^2)

Tipo de rocha		Fig. n.º	Semieixos da quártica			Ângulo xÔX (°)	Coeficientes de anisotropia				Coef. de variação (%)
			l	m	n		de superfície a_S	de massa a_V	Total a_t	Máxima a_M	
Xisto	Muito alterado	5	355	565	80	+ 45	2,22	1,40	3,11	7,14	16,9
Xisto	Pouco alterado	7	651	552	115	+ 16	2,27	1,20	2,72	5,66	11,6
Xisto	São	9	870	927	310	− 19	1,63	1,07	1,74	3,35	9,9
Micaxisto com biotite		11	707	772	440	− 24	1,24	1,02	1,26	1,79	5,2
Valores médios							1,84	1,17	2,21	4,48	10,9

SUPERFICIE QUÁRTICA MAIS PROVÁVEL DAS TENSÕES DE ROTURA (kgf/cm²)

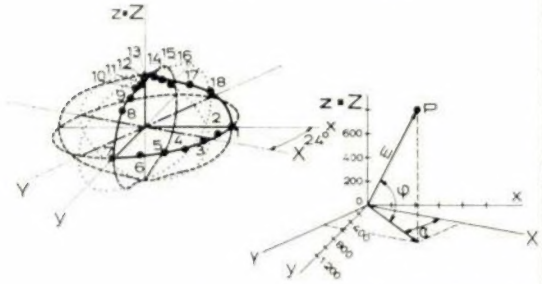
EQUAÇÕES NORMAIS:

CARTESIANA

$$\frac{x^2}{707^2}+\frac{y^2}{772^2}+\frac{z^2}{440^2}+\frac{x^2z^2}{761^4}+\frac{y^2z^2}{682^4}=1$$

POLAR

$$E^4\left(\frac{\cos^2\alpha}{761^4}+\frac{\operatorname{sen}^2\alpha}{682^4}\right)\cos^2\varphi\,\operatorname{sen}^2\varphi+E^2\left[\left(\frac{\cos^2\alpha}{707^2}+\frac{\operatorname{sen}^2\alpha}{772^2}-\frac{1}{440^2}\right)\cos^2\varphi+\frac{1}{440^2}\right]=1$$



ESCALAS E CONVENÇÕES

COEFICIENTE DE ANISOTROPIA

ANISOTROPIA	VALORES
SUPERFÍCIE	1,24
MASSA	1,02
TOTAL	1,26
MÁXIMA	1,79

ESTUDO DA ANISOTROPIA

XISTO MUITO ALTERADO

VALORES TEÓRICOS E EXPERIMENTAIS

ORIENTAÇÃO	VALORES (kgf/cm²)		DESVIOS	
	EXPERIMENTAL	TEÓRICO	ABSOLUTOS (10^3kgf/cm²)	RELATIVOS (%)
1	727	717	+10	+1,4
2	687	708	-21	-3,0
3	700	708	-8	-1,1
4	739	714	+25	+3,5
5	735	728	+7	+0,9
6	714	744	-30	-4,0
7	778	760	+18	+2,4
8	689	657	+32	+4,9
9	519	560	-41	-7,3
10	456	424	+32	+7,5
11	454	463	-9	-1,9
12	447	445	+2	+0,4
13	430	440	-10	-2,3
14	426	448	-22	-4,9
15	416	456	-40	-8,8
16	414	474	-60	-12,6
17	517	514	+3	+0,6
18	614	592	+22	+3,7

Desvio padrão $\delta = \pm 27\times10^3$ kgf/cm²

Coeficiente de variação $\varepsilon = 5{,}2\%$

Fig. 4

SUPERFÍCIE QUÁRTICA MAIS PROVÁVEL DOS MÓDULOS DE ELASTICIDADE (kgf/cm²)

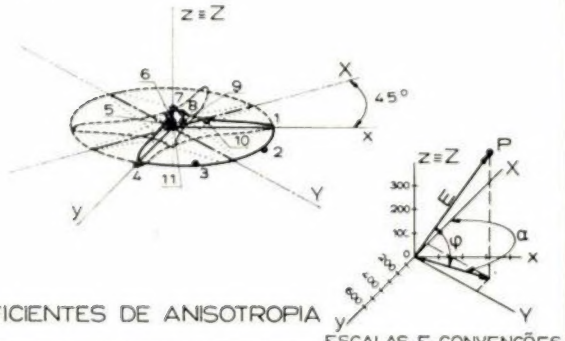
EQUAÇÕES NORMAIS

CARTESIANA

$$\frac{x^2}{355^2}+\frac{y^2}{565^2}+\frac{z^2}{80^2}+\frac{x^2z^2}{57^4}+\frac{y^2z^2}{122^4}=1$$

POLAR

$$E^4\left(\frac{\cos^2\alpha}{57^4}+\frac{\operatorname{sen}^2\alpha}{122^4}\right)\cos^2\varphi\,\operatorname{sen}^2\varphi+E^2\left[\left(\frac{\cos^2\alpha}{355^2}+\frac{\operatorname{sen}^2\alpha}{565^2}-\frac{1}{80^2}\right)\cos^2\varphi+\frac{1}{80^2}\right]=1$$



ESCALAS E CONVENÇÕES

COEFICIENTES DE ANISOTROPIA

ANISOTROPIA	VALORES
SUPERFÍCIE	2,22
MASSA	1,40
TOTAL	3,11
MÁXIMA	7,14

ESTUDO DA ANISOTROPIA

XISTO MUITO ALTERADO

VALORES TEÓRICOS E EXPERIMENTAIS

ORIENTAÇÃO	VALORES (kgf/cm²)		DESVIOS	
	EXPERIMENTAL	TEÓRICO	ABSOLUTOS (10^3kgf/cm²)	RELATIVOS (%)
1	395	425	-30	-7,1
2	568	538	+30	+5,6
3	506	538	-32	-5,9
4	436	426	+10	+2,3
5	60	90	-30	-33,3
6	85	77	+8	+10,4
7	80	80	0	0
8	77	77	0	0
9	78	91	-13	-14,3
10	194	166	+28	+16,9
11	73	108	-35	-32,4
12	—	89	—	—

Desvio padrão $\delta = \pm 25\times10^3$ kgf/cm²

Coeficiente de variação $\varepsilon = 16{,}9\%$

Fig. 5

SUPERFÍCIE QUÁRTICA MAIS PROVÁVEL DAS TENSÕES DE ROTURA (kgf/cm²)

ESTUDO DA ANISOTROPIA

XISTO POUCO ALTERADO

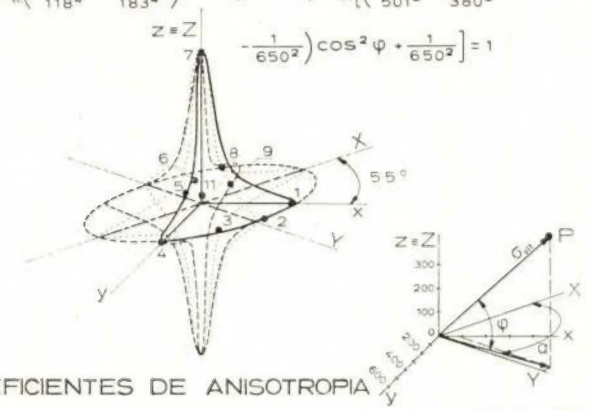
EQUAÇÕES NORMAIS:

CARTESIANA:

$$\frac{x^2}{501^2}+\frac{y^2}{380^2}+\frac{z^2}{650^2}+\frac{x^2z^2}{118^4}+\frac{y^2z^2}{183^4}=1$$

POLAR:

$$\sigma_{ult}^4\left(\frac{\cos^2\alpha}{118^4}+\frac{\operatorname{sen}^2\alpha}{183^4}\right)\cos^2\varphi\,\operatorname{sen}^2\varphi+\sigma_{ult}^2\left[\left(\frac{\cos^2\alpha}{501^2}+\frac{\operatorname{sen}^2\alpha}{380^2}-\frac{1}{650^2}\right)\cos^2\varphi+\frac{1}{650^2}\right]=1$$



COEFICIENTES DE ANISOTROPIA

ANISOTROPIA	VALORES
SUPERFÍCIE	1,30
MASSA	2,04
TOTAL	2,65
MÁXIMA	4,35

ESCALAS E CONVENÇÕES

VALORES TEÓRICOS E EXPERIMENTAIS

ORIENTAÇÃO	VALORES (kgf/cm²)		DESVIOS	
	EXPERIMENTAL	TEÓRICO	ABSOLUTOS (kgf/cm²)	RELATIVOS (%)
1	390	410	- 20	- 4,9
2	390	380	+ 10	+ 2,6
3	360	395	- 35	- 8,9
4	480	449	+ 31	+ 6,9
5	200	183	+ 17	+ 9,3
6	130	187	- 57	-30,5
7	650	650	0	0
8	170	208	- 38	-18,3
9	160	206	- 46	-17,7
10	—	288	—	—
11	200	207	- 7	- 3,4
12	—	250	—	—

Desvio padrão $\delta = \pm 33\ kgf/cm^2$

Coeficiente de variação $\varepsilon = 14,3\%$

Fig. 6

SUPERFÍCIE QUÁRTICA MAIS PROVÁVEL DOS MÓDULOS DE ELASTICIDADE (kgf/cm²)

ESTUDO DA ANISOTROPIA

XISTO POUCO ALTERADO

EQUAÇÕES NORMAIS:

CARTESIANA:

$$\frac{x^2}{651^2}+\frac{y^2}{552^2}+\frac{z^2}{115^2}+\frac{x^2z^2}{149^4}+\frac{y^2z^2}{165^4}=1$$

POLAR:

$$E^4\left(\frac{\cos^2\alpha}{149^4}+\frac{\operatorname{sen}^2\alpha}{165^4}\right)\cos^2\varphi\,\operatorname{sen}^2\varphi+E^2\left[\left(\frac{\cos^2\alpha}{651^2}+\frac{\operatorname{sen}^2\alpha}{552^2}-\frac{1}{115^2}\right)\cos^2\varphi+\frac{1}{115^2}\right]=1$$

COEFICIENTES DE ANISOTROPIA

ANISOTROPIA	VALORES
SUPERFÍCIE	2,27
MASSA	1,20
TOTAL	2,72
MÁXIMA	5,66

ESCALAS E CONVENÇÕES

VALORES TEÓRICOS E EXPERIMENTAIS

ORIENTAÇÃO	VALORES (kgf/cm²)		DESVIOS	
	EXPERIMENTAL	TEÓRICO	ABSOLUTOS (10^3 kgf/cm²)	RELATIVOS (%)
1	628	640	- 12	- 1,9
2	614	594	+ 20	+ 3,4
3	528	557	- 29	- 5,2
4	570	557	+ 13	+ 2,3
5	170	182	- 12	- 6,6
6	126	128	- 2	- 1,6
7	90	115	- 25	-21,7
8	122	126	- 4	- 3,2
9	156	176	- 20	-11,4
10	230	251	+ 21	+ 8,4
11	143	188	- 45	-23,9
12	—	130	—	—

Desvio padrão $\delta = \pm 23 \times 10^3\ kgf/cm^2$

Coeficiente de variação $\varepsilon = 11,6\%$

Fig. 7

ESTUDO DA ANISOTROPIA

XISTO SÃO

SUPERFÍCIE QUÁRTICA MAIS PROVÁVEL DAS TENSOES DE ROTURA (kgf/cm²)

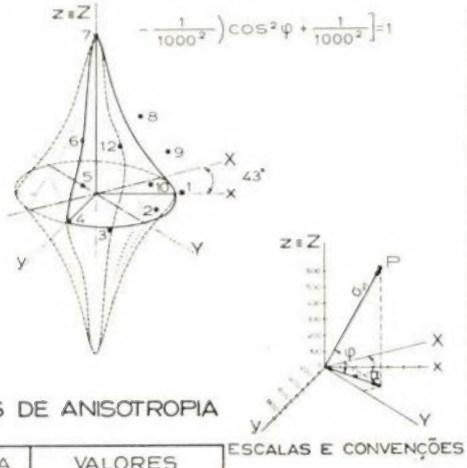
EQUAÇÕES NORMAIS:

CARTESIANA

$$\frac{x^2}{424^2}+\frac{y^2}{701^2}+\frac{z^2}{1000^2}+\frac{x^2z^2}{302^4}+\frac{y^2z^2}{435^4}=1$$

POLAR:

$$\sigma_*^4\left(\frac{\cos^2\alpha}{302^4}+\frac{\operatorname{sen}^2\alpha}{435^4}\right)\cos^2\varphi\,\operatorname{sen}^2\varphi+\sigma_*^2\left[\left(\frac{\cos^2\alpha}{424^4}+\frac{\operatorname{sen}^2\alpha}{701^2}-\frac{1}{1000^2}\right)\cos^2\varphi+\frac{1}{1000^2}\right]=1$$



ESCALAS E CONVENÇÕES

COEFICIENTES DE ANISOTROPIA

ANISOTROPIA	VALORES
SUPERFÍCIE	1,50
MASSA	1,33
TOTAL	2,00
MÁXIMA	2,70

VALORES TEÓRICOS E EXPERIMENTAIS

ORIENTAÇÃO	VALORES (kgf/cm²)		DESVIOS	
	EXPERIMENTAL	TEÓRICO	ABSOLUTOS (kgf/cm²)	RELATIVOS (%)
1	540	504	+ 36	+ 7,1
2	550	652	- 102	- 15,6
3	730	674	+ 56	+ 8,3
4	470	523	- 53	- 10,1
5	260	430	- 170	- 39,5
6	480	468	+ 12	+ 2,5
7	1000	1000	0	0
8	560	435	+ 125	+ 28,7
9	520	401	+ 119	+ 29,6
10	510	570	- 60	- 10,5
11	—	493	—	—
12	400	530	- 130	- 24,5

Desvio padrão $\delta = \pm 98$ kgf/cm²

Coeficiente de variação $\varepsilon = 21,1$ %

Fig. 8

ESTUDO DA ANISOTROPIA

XISTO SÃO

SUPERFÍCIE QUÁRTICA MAIS PROVÁVEL DOS MÓDULOS DE ELASTICIDADE (kgf/cm²)

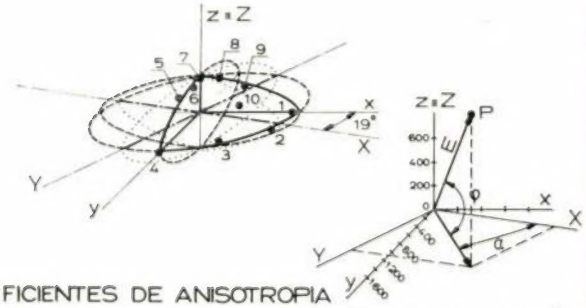
EQUAÇÕES NORMAIS:

CARTESIANA:

$$\frac{x^2}{870^2}+\frac{y^2}{927^2}+\frac{z^2}{310^2}+\frac{x^2z^2}{420^4}+\frac{y^2z^2}{724^4}=1$$

POLAR:

$$E^4\left(\frac{\cos^2\alpha}{420^4}+\frac{\operatorname{sen}^2\alpha}{724^4}\right)\cos^2\varphi\,\operatorname{sen}^2\varphi+E^2\left[\left(\frac{\cos^2\alpha}{870^2}+\frac{\operatorname{sen}^2\alpha}{927^2}-\frac{1}{310^2}\right)\cos^2\varphi+\frac{1}{310^2}\right]=1$$



ESCALAS E CONVENÇÕES

COEFICIENTES DE ANISOTROPIA

ANISOTROPIA	VALORES
SUPERFÍCIE	1,63
MASSA	1,07
TOTAL	1,74
MÁXIMA	3,35

VALORES TEÓRICOS E EXPERIMENTAIS

ORIENTAÇÃO	VALORES (kgf/cm²)		DESVIOS	
	EXPERIMENTAL	TEÓRICO	ABSOLUTOS (10^3 kgf/cm²)	RELATIVOS %
1	776	819	- 43	- 5,3
2	862	808	+ 54	+ 6,7
3	806	883	- 77	- 8,7
4	1030	1,005	+ 25	+ 2,5
5	577	514	+ 63	+ 12,3
6	295	348	- 53	- 15,2
7	279	310	- 31	- 10,0
8	333	336	- 3	- 0,9
9	430	485	- 55	- 11,3
10	510	575	- 65	- 11,3
11	—	332	—	—
12	—	342	—	—

Desvio padrão $\delta = \pm 53 \times 10^3$ kgf/cm²

Coeficiente de variação $\varepsilon = 9,9$ %

Fig. 9

ESTUDO DA ANISOTROPIA

MICAXISTO COM BIOTITE

SUPERFÍCIE QUÁRTICA MAIS PROVÁVEL DAS TENSÕES DE ROTURA (kgf/cm²)

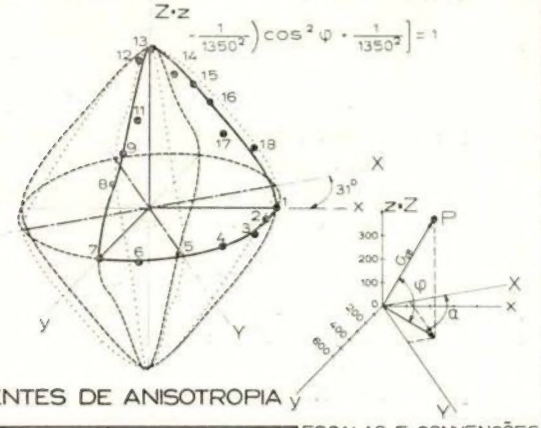
EQUAÇÕES NORMAIS:

CARTESIANA:

$$\frac{x^2}{1008^2}+\frac{y^2}{1347^2}+\frac{z^2}{1350^2}+\frac{x^2z^2}{886^4}+\frac{y^2z^2}{875^4}=1$$

POLAR:

$$\sigma_{ult}^4\left(\frac{\cos^2\alpha}{886^4}+\frac{\operatorname{sen}^2\alpha}{875^4}\right)\cos^2\varphi\,\operatorname{sen}^2\varphi+\sigma_{ult}^2\left[\left(\frac{\cos^2\alpha}{1008^2}+\frac{\operatorname{sen}^2\alpha}{1347^2}-\frac{1}{1350^2}\right)\cos^2\varphi+\frac{1}{1350^2}\right]=1$$



ESCALAS E CONVENÇÕES

COEFICIENTES DE ANISOTROPIA

ANISOTROPIA	VALORES
SUPERFÍCIE	1,14
MASSA	1,12
TOTAL	1,28
MÁXIMA	1,47

VALORES TEÓRICOS E EXPERIMENTAIS

ORIENTAÇÃO	VALORES (kgf/cm²)		DESVIOS	
	EXPERIMENTAL	TEÓRICO	ABSOLUTOS (kgf/cm²)	RELATIVOS (%)
1	1070	1073	- 3	-0,3
2	1120	1148	-28	-2,4
3	1290	1238	+52	+4,2
4	1310	1318	- 8	-0,6
5	1290	1342	-52	-3,9
6	1350	1308	+42	+3,2
7	1210	1222	-12	-1,0
8	1020	986	+34	+3,4
9	990	989	+1	+0,1
10	—	1044	—	—
11	890	1148	-258	-22,5
12	1360	1265	+95	+7,5
13	1330	1350	-20	-1,5
14	1140	1253	-113	-9,0
15	1120	1119	+1	+0,1
16	1020	1015	+5	+0,5
17	870	971	-101	-10,4
18	1010	967	+43	+4,4

Desvio padrão $\delta = \pm 83$ kgf/cm²

Coeficiente de variação $\varepsilon = 7{,}2\%$

Fig. 10

ESTUDO DA ANISOTROPIA

MICAXISTO COM BIOTITE

SUPERFICIE QUÁRTICA MAIS PROVÁVEL DAS TENSÕES DE ROTURA (kgf/cm²)

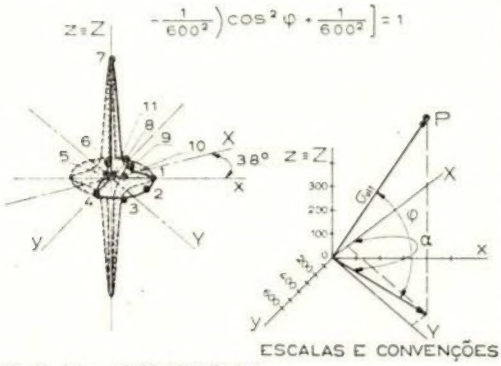
EQUAÇÕES NORMAIS:

CARTESIANA:

$$\frac{x^2}{149^2}+\frac{y^2}{256^2}+\frac{z^2}{600^2}+\frac{x^2z^2}{97^4}+\frac{y^2z^2}{189^4}=1$$

POLAR:

$$\sigma_{ult}^4\left(\frac{\cos^2\alpha}{97^4}+\frac{\operatorname{sen}^2\alpha}{189^4}\right)\cos^2\varphi\,\operatorname{sen}^2\varphi+\sigma_{ult}^2\left[\left(\frac{\cos^2\alpha}{149^2}+\frac{\operatorname{sen}^2\alpha}{256^2}-\frac{1}{600^2}\right)\cos^2\varphi+\frac{1}{600^2}\right]=1$$



ESCALAS E CONVENÇÕES

COEFICIENTES DE ANISOTROPIA

ANISOTROPIA	VALORES
SUPERFÍCIE	1,87
MASSA	3,31
TOTAL	6,20
MÁXIMA	6,76

VALORES TEÓRICOS E EXPERIMENTAIS

ORIENTAÇÃO	VALORES (kgf/cm²)		DESVIOS	
	EXPERIMENTAL	TEÓRICO	ABSOLUTOS (kgf/cm²)	RELATIVOS (%)
1	180	172	+8	+4,6
2	210	227	-17	-7,5
3	260	251	+9	+3,6
4	180	194	-14	-7,2
5	70	79	- 9	-11,4
6	90	81	+9	+11,1
7	500	500	0	0
8	100	80	+20	+25,0
9	90	78	+12	+15,4
10	70	99	-29	-29,3
11	80	82	- 2	-2,4
12	—	78	—	—

Desvio padrão $\delta = \pm 15$ kgf/cm²

Coeficiente de variação $\varepsilon = 14{,}6\%$

Fig. 11

Nas figuras encontram-se representadas as quárticas de anisotropia, os eixos de referência (x, y, z) e os eixos principais (X, Y, Z) e indicadas as equações normais, cartesiana e polar, e o tipo de rocha; num quadro os valores experimentais e teóricos e correspondentes desvios segundo as doze direcções consideradas, bem como o desvio-padrão e o coeficiente de variação daí resultante, e noutro quadro os quatro coeficientes de anisotropia.

A análise dos quadros I e II permite enunciar as seguintes conclusões:

a) Os coeficientes de variação mostram que as tensões de rotura e os módulos de elasticidade das rochas estudadas são muito satisfatòriamente representados por quárticas fechadas de equação genérica (8), com um melhor índice de correlação para os módulos de elasticidade;

b) A anisotropia de superfície influencia mais os módulos de elasticidade que as tensões de rotura;

c) A anisotropia de massa influencia mais a tensão de rotura que os módulos de elasticidade;

d) O coeficiente de anisotropia total é maior para as tensões de rotura;

e) O coeficiente de anisotropia máxima, pelo contrário, é maior para os módulos de elasticidade, como já se tinha constado também para rochas eruptivas [1];

f) Os resultados obtidos permitem encarar, com boas perspectivas, o alargamento deste estudo a outras características vectoriais das rochas, independentemente da sua natureza [5].

O autor deseja manifestar pùblicamente o seu agradecimento ao experimentador Manuel Reis e Sousa pela valiosa colaboração prestada na realização dos ensaios e na elaboração dos cálculos e dos desenhos apresentados.

BIBLIOGRAFIA

[1] — PERES RODRIGUES, F. — Anisotropy of granites; modulus of elasticity and ultimate strenght ellipsoids, joint systems, slope attitudes and their correlations. Proc. of the Ist Congress of the SIMR, Vol. I, pp. 721-731, Lisbon, 1966.

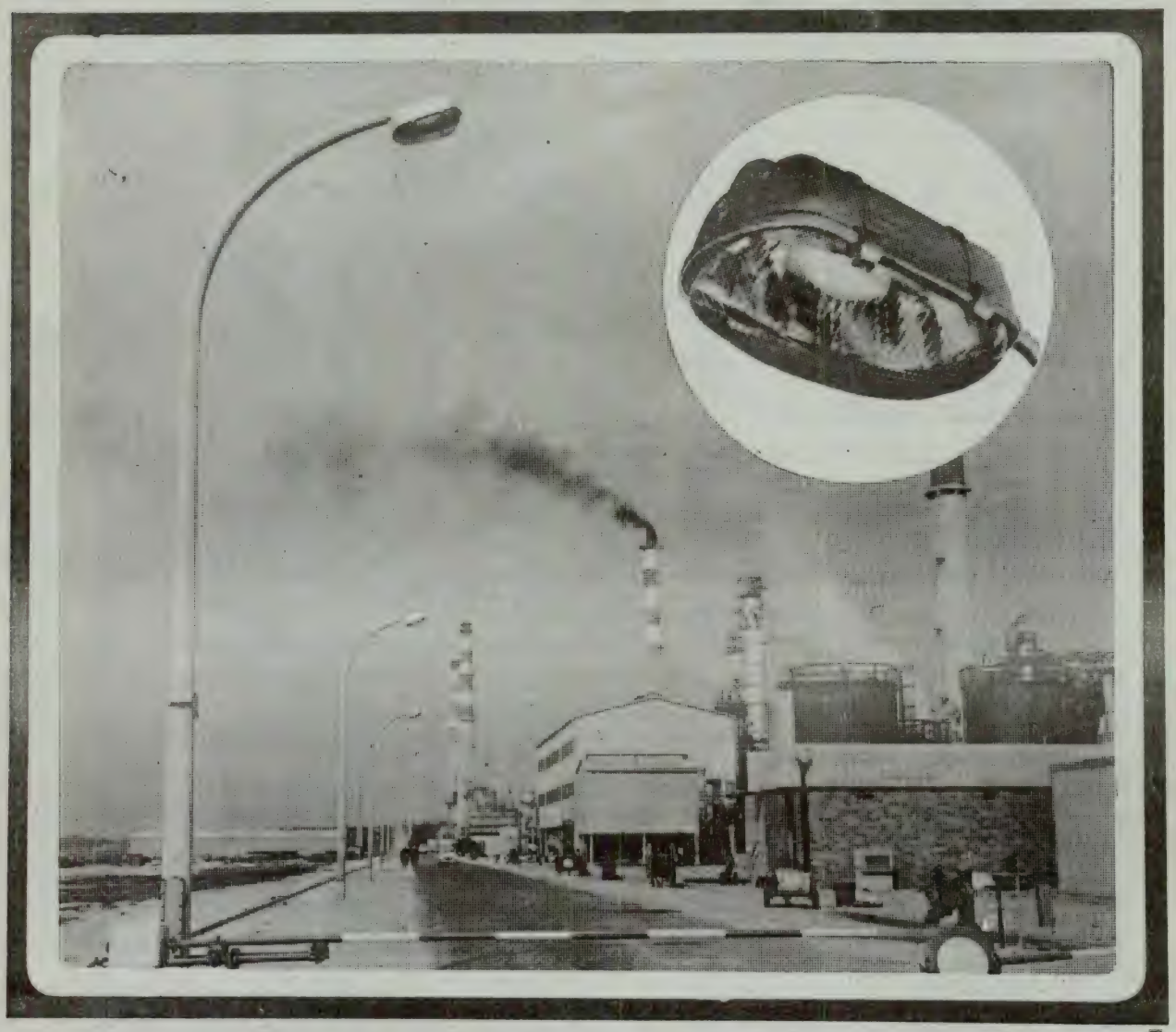
[2] — LOUREIRO PINTO, J. — Stress and strains in an anisotropic-orthotropic body. Proc. of the Ist Congress of the SIMR, Vol. I, pp. 625-635, Lisbon 1966.

[3] — LEKHNITSKII, S. G. — Theory of elasticity of an anisotropic elastic body. Holden-Day, San Francisco, 1963.

[4] — DOUGLASS, P. M. and VOIGHT, B. — Anisotropy of granites; a reflection of microscopic fabric. Geotechnique, Vol. XIX, n.° 3, Setembro, 1969.

[5] — PERES RODRIGUES, F. and AIRES-BARROS, L. — Anisotropy of endogenetic rocks. Proc of the 2nd Congress of the SIMR, Vol. I, 1-23, Beograd, 1970.

ARMADURA DE ILUMINAÇÃO TIPO HM



MIRA 138

CONSTRUÇÕES ELECTRICAS

SCHRÉDER

P. JOSÉ FONTANA, 25 · TELEFONE 561001 · LISBOA

HOJE E SEMPRE... os aglomerados

ISOLA

– para isolamentos térmicos
acústicos
vibráticos

FAZEM PARTE INTEGRANTE
DA ARQUITECTURA MODERNA

Soc. Comercial de Isolamentos
de Cortiça, Lda.

AV. ANTÓNIO AUGUSTO DE AGUIAR, 17
LISBOA
Tel: 53 7181 Telegr: Isola

Av. Visconde Valmor, 76-1.º - Tel. 766014 (7 linhas) Lisboa-1

• SOLDADURA
ELÉCTRICA

• MATERIAL
DE PROTECÇÃO

Aparelhagem
de medidas
eléctricas

+ indicadora
+ reguladora
+ registadora

J. ROMA, L.DA

P. da Figueira, 12, 1.º LISBOA Tel. 865151
P. do Município, 309-6.º S 3 PORTO Tel. 0236732

C. D. U. 624.131.25 : 624.138.51
624.131.25 : 624.131.439.5

CALDAS DE INJECÇÃO À BASE DE CIMENTO. SUA INFLUÊNCIA NA RESISTÊNCIA AO CORTE DE MACIÇOS ROCHOSOS FISSURADOS (*)

por M. BARROSO
Engenheiro de Minas,
Especialista do Serviço de Barragens do L. N. E. C.

RESUMO

Nesta comunicação é apresentado um processo simples de caracterização de caldas de injecção com base em cimento após endurecimento, que permite estimar a sua resistência e, ao mesmo tempo, as suas características antes de presa.

Apresenta-se ainda o problema da resistência ao corte de maciços rochosos fissurados injectados, pondo em relevo a acção da pressão de injecção. Alguns parâmetros envolvidos na resistência ao corte da ligação «rocha-calda de injecção» são postos em evidência por resultados de ensaios, sendo especialmente visada a resistência ao deslizamento após rotura.

Tendo em atenção a importância da acção das pressões, descreve-se um modelo para ensaios de injecções que permite introduzir deformações elásticas em fissuras simuladas e apresentam-se alguns resultados de ensaios.

SYNOPSIS

This paper presents a new method for the characterization of cement grouts after hardening which allows their qualities of resistance and their properties before setting to be estimated.

The problem of the shear strength of grouted fissured rock masses is also presented, the effects of grouting emphasized. Some results of laboratory tests clearly show the effect of several parameters on the shear strength of the rock-grout bond, the resistance to sliding being especially dealt with.

At last due to the importance of pressure effects, a model used for injection tests is described in which an elastic deformation of simulated fissures occurs with grouting pressures, some results being presented.

1 — INTRODUÇÃO

A técnica das injecções, especialmente quando são envolvidos problemas de consolidação de maciços rochosos, recorre com muita frequência a suspensões de cimento portland normal. Por serem indirectos os processos de apreciação de resultados e por se assistir à tentativa de fazer sair estas técnicas do domínio puramente empírico, em que têm evoluído, e interessá-las cada vez mais no domínio científico, põem-se actualmente muitas reservas nos benefícios realmente alcançados, apesar dos inúmeros sucessos do seu emprego.

Do ponto de vista do controle de materiais a empregar pela medida das viscosidades, tensões de cedência, efeito «bleeding», tempos de presa e mesmo tensões de rotura por compressão simples, como usualmente se faz, pode considerar-se satisfatório. No entanto, o estudo do que se passa na parte sedimentada, como complemento do efeito «bleeding», revela resultados interessantes.

As maiores dificuldades têm surgido quando se tenta avaliar os resultados do emprego destas técnicas, o que só é possível fazer, com algum significado, por medidas «in situ», dada a impossibilidade de simulação de injecções em laboratório. Se é fácil controlar a permeabilidade, embora usualmente se faça no mesmo sentido da injecção, em relação à deformabilidade muitas dúvidas ficam por vezes. Já do ponto de vista da resistência ao corte não temos conhecimento de qualquer referência, a não ser alguns ensaios laboratoriais especialmente dirigidos à injecção de juntas de dilatação ou monolitização de blocos [1, 2].

É sobre este aspecto que insistiremos em seguida, tentando introduzir os efeitos da acção das pressões

(*) Trabalho apresentado em inglês no 2.º Congresso da Sociedade Internacional de Mecânica das Rochas, Belgrado, 1970.
Artigo recebido na redacção em 6-1-1971

quer na circulação das caldas de injecção quer nos resultados finais a obter. Como complemento referimos ainda a construção de um modelo com a possibilidade de reproduzir a acção das pressões na variação das dimensões das fissuras. À não-consideração deste aspecto de actuação das pressões tem sido atribuída a falência de significado dos ensaios laboratoriais para simulação de injecções de maciços rochosos fissurados.

2 — CARACTERIZAÇÃO DE CALDAS DE INJECÇÃO À BASE DE CIMENTO

São bem conhecidos os estudos reológicos de suspensões de cimento, efectuados por PAPADAKIS [3].

De comportamento tipo plástico de Bingham, estas suspensões revelam uma correspondência exponencial entre a viscosidade η e a concentração em volumes, do modo seguinte

$$\eta = \eta_0 \; e^{c/w}$$

em que η_0 é a viscosidade do fluido de suspensão e c/w a relação cimento-água em volumes.

Do mesmo modo, para a tensão de cedência τ esse autor obteve uma relação.

$$\tau = \tau_0 \; e^{c/w}$$

A evolução de τ no tempo foi abordada nos nossos ensaios utilizando um viscosímetro comercial Brookfield com um rotor modificado, e verificámos que existe também uma lei exponencial entre a evolução da tensão de cedência no tempo e a concentração em volumes.

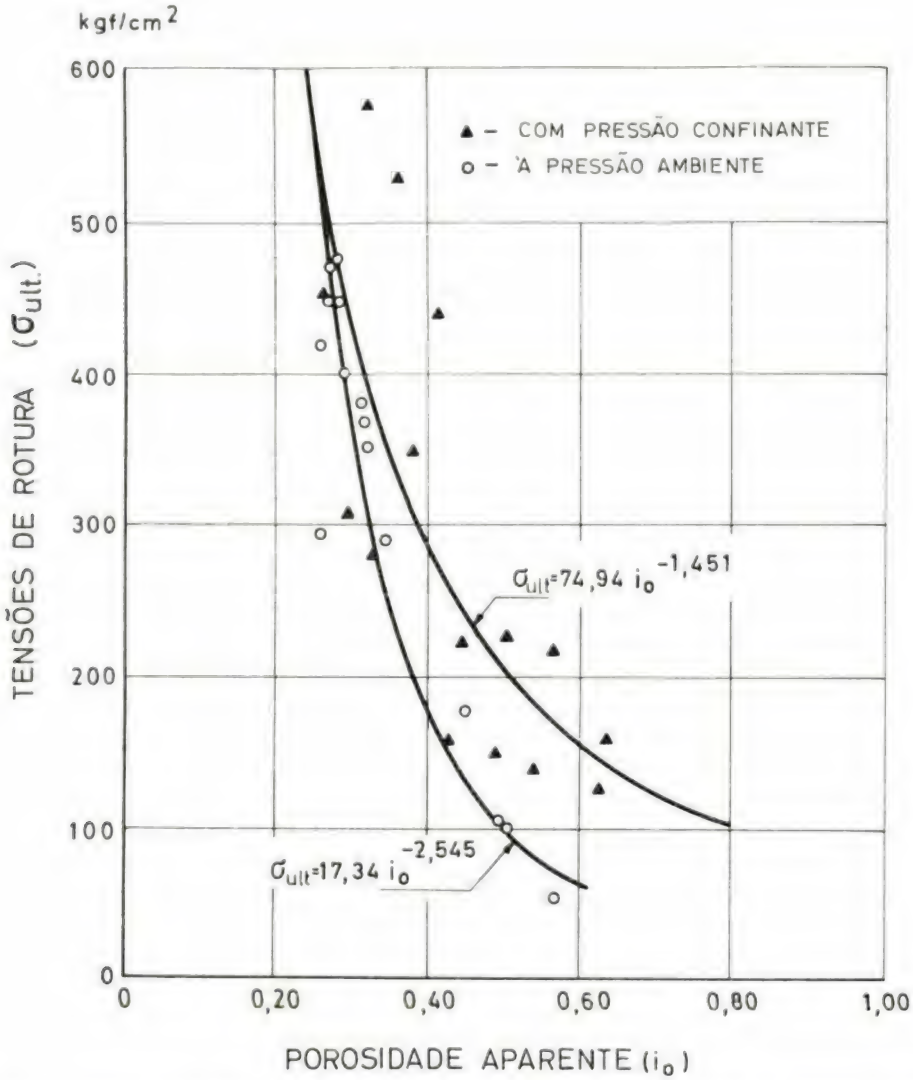


Fig. 1 — Relação entre σ_{ult} e i_o aos 28 dias, de caldas de cimento com presa sob pressão hidrostática de 30 kgf/cm2 e sob pressão ambiente.

Para as primeiras duas horas o resultado obtido foi o seguinte

$$\frac{\tau_o}{t} = 0{,}001\ e^{14{,}6\ c/w}$$

em que τ_o é medido em dines/cm^2, t em horas e $\frac{c}{w}$ em volumes.

Sobre a caracterização destas caldas de injecção após presa utilizámos o ensaio clássico de aquecimento a 105°C até peso constante para nos dar um valor aproximado do volume de água evaporável do cimento hidratado [4]. Pode deste modo definir-se um índice, i_o, designado por porosidade aparente, que relaciona os pesos das amostras saturadas, W_s, e secas nas condições anteriores, Wo, do modo seguinte

$$i_o = \frac{W_s - W_o}{W_o} \qquad (1)$$

Verificámos existir entre a resistência à compressão simples σ_{ult} e i_o uma relação semelhante às obtidas por POWERS [5] e DZULINSKY [6] para pastas de cimento e KOWALSKY [7] para certas rochas, e que é a seguinte

$$\sigma_{ult} = a_o\ i_o^{-K} \qquad (2)$$

em que a_o e K são duas constantes experimentais que variam com a idade, tipo de cimento e de aditivos.

Na fig. 1 apresentamos os resultados obtidos aos 8 dias, com um cimento (susp. específica Blaine 3300 cm^2/g) na caracterização de colunas de sedimentação de 30 cm de altura inicial, em que se analisou também o efeito de uma pressão hidrostática de 30 kgf/cm^2 durante a presa.

Se atendermos a que com caldas de injecção diluídas a água de saturação é na sua maior parte capilar, pode admitir-se aproximadamente a relação

$$i_o = \frac{W/C - Wh/C}{1 + Wh/C} \qquad (3)$$

em que W/C e Wh/C são, respectivamente, a relação água-cimento inicial e água de hidratação fixa-cimento, expressas em pesos.

Atendendo aos limites apertados de variação de Wh/C, a representação gráfica da expressão (3) (fig. 2) mostra a facilidade com que se pode estimar o valor de W/C, desde que seja conhecido i_o.

3 — CONSIDERAÇÕES SOBRE A ACÇÃO DAS PRESSÕES DE INJECÇÃO EM MACIÇOS ROCHOSOS FISSURADOS

Sobre os efeitos das pressões durante a injecção muita controvérsia se tem levantado, apesar de se reconhecer a sua necessidade. Sobre esta questão CAMBEFORT [8] faz um apresentação dos fenómenos que são

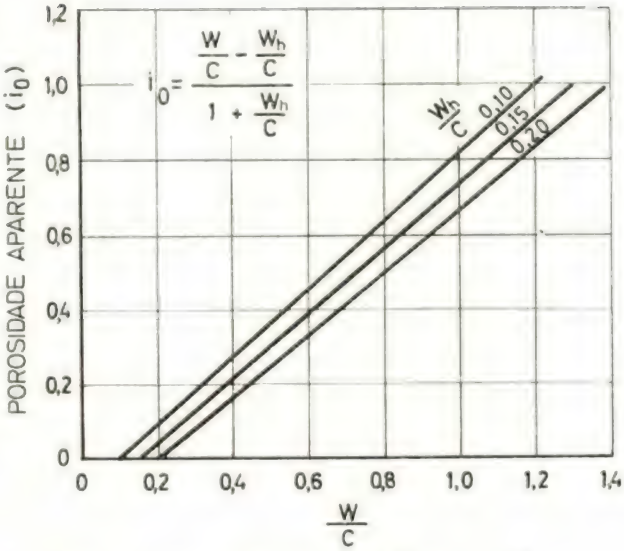


Fig. 2 — Variação de i_o com $\frac{W_h}{C}$ e $\frac{W}{C}$

envolvidos, tendo em vista esclarecer os problemas da rotura hidráulica e levantamento de terrenos e sintetizando os conhecimentos existentes.

Como aspectos positivos da acção das pressões podemos referir os seguintes:

a) Acção de abertura das fissuras

O autor precedente atribui a este efeito o sucesso alcançado pela injecção de caldas instáveis em maciços rochosos fissurados, pelo aumento da capacidade de penetração. Para estimar a sua importância considera razoável a aproximação pela fórmula de BOUSSINESQ numa área equivalente a 1/3 a 1/4 do raio de acção da injecção, chegando fàcilmente a deformações importantes. No entanto há que contar sempre com as tensões instaladas devidas ao peso próprio e as forças orogénicas como condicionadoras dessas deformações.

b) A contrapressão

Em estreita ligação com as deformações, no domínio da reversibilidade, está o fenómeno designado por contrapressão e que se manifesta por uma acção redistribuidora da calda de injecção depositada nas fissuras. No entanto, isso só será realmente eficaz no caso de caldas estabilizadas e desde que a resistência ao escoamento seja ultrapassada, pois nas caldas instáveis, as mais usuais em fundações de barragens de betão, é provável que os depósitos sedimentares apresentem grande resistência ao escoamento. Em contrapartida só neste último caso a contrapressão terá um efeito consolidante nos depósitos de calda de injecção.

c) Consolidação

Admite-se também que as pressões de injecção tenham uma acção consolidante pela expulsão de água

em excesso. Para que isto se verifique, terá de contar-se com a resistência à percolação da água quer nos depósitos de calda sedimentados quer na própria rocha. Os ensaios laboratoriais até agora realizados com maior significado e que consistiram na injecção, com equipamentos correntes, de fissuras finas de pressura rìgidamente mantida [9], contestaram estes resultados, pelo que esta acção só terá significado quando complementada com a acção da contrapressão.

d) Fracturação hidráulica

Em certos casos, como na injecção de aluviões, a impermeabilização só é possível muitas vezes mediante fracturação hidráulica e consequente estabelecimento de uma rede de fissuras preenchidas, envolventes impermeáveis que impedem a percolação apesar de os vazios se manterem.

Como aspectos negativos da acção das pressões, quando excedidos certos limites, podemos referir os seguintes:

a) Destruição da estrutura geral dos maciços rochosos

As pressões de injecção, quando exageradas, podem conduzir, pelo mecanismo já exposto das deformações, a situações irreversíveis que correspondem a desarranjos interiores na estrutura dos maciços. Estas acções podem ocorrer tanto na injecção pròpriamente dita como nas lavagens das fissuras com água sob pressão, as quais, não raras vezes, dão levantamentos superficiais irreversíveis. Aos efeitos superficiais, levantamentos ou aparecimento de fissuras, perfeitamente controláveis, teremos de juntar os efeitos interiores que escapam a qualquer controle visual, e que só poderão ser detectados por via indirecta.

Os riscos que se correm excedendo as tensões instaladas são diferentes conforme o diaclasamento e o estado de tensão conduzam a deformações preferenciais em planos horizontais ou verticais, visto que, no primeiro, caso, temos apenas o peso próprio, limitado, portanto, a contrariar as pressões, enquanto no segundo caso não há pròpriamente limite na força contrária à acção das pressões.

É excelente exemplo do que se acaba de referir o caso representado esquemàticamente na fig. 3, observado numa escavação duma zona injectada, em que um furo de injecção vertical injectou um maciço rochoso xistoso, de xistosidade vertical. Enquanto os planos verticais apenas apresentavam vestígios de cimentos, provàvelmente por terem sido fechados após cessarem as pressões, as fissuras horizontais mantiveram-se abertas e injectadas, provàvelmente devido a os atritos nas fissuras verticais, ao longo das quais ocorreram deslocamentos, impedirem o regresso às posições iniciais.

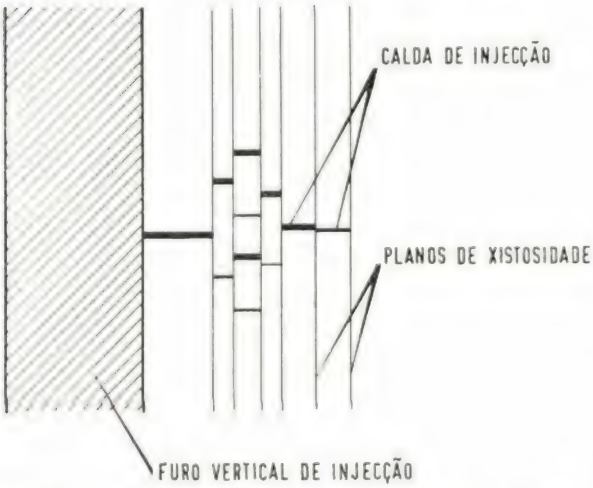


Fig. 3 — Esquema de um caso real de injecção em dois sistemas de diaclases de um maciço rochoso.

b) Destruição de contactos rochosos

Como aspecto complementar do anterior, a acção das pressões pode conduzir à redução dos contactos rochosos ou por se terem atingido limites irreversíveis ou porque a resistência ao escoamento da calda depositada o tenha impedido também. O benefício resultante da melhor distribuição de tensões pode não compensar os inconvenientes da redução de contactos rochosos, tendo em vista a resistência ao corte.

c) Absorções exageradas

P. LONDE e F. SABARLY [10], considerando um maciço rochoso fissurado segundo uma geometria simples, injectado a uma pressão p, chegaram fàcilmente a uma expressão que serve para estimar o caudal absorvido. Admitindo uma percolação radial esse caudal seria dado por

$$q = B\ p\ e^3$$

em que B é uma constante dependente das condições aos limites e das propriedades da calda de injecção.

A deformação devida à pressão p e calculada aproximadamente pela fórmula de BOUSSINESQ, no caso de fissuras finas, fàcilmente excede as aberturas iniciais, e portanto pode referir-se finalmente

$$q = C\ p^4$$

que mostra bem a extraordinária influência da pressão nas absorções, no caso de fissuras finas, e da necessidade de se limitarem sistemàticamente as pressões.

Sobre os limites de pressões a adoptar em cada caso, que o exposto bem justifica, muitos têm sido os critérios utilizados. Reunimos na fig. 4 os critérios mais vulgares, os quais servem apenas como base inicial pois só experimentando em condições bem definidas e controladas se podem definir os limites a não exceder. Deve referir-se em particular que os valores experimentais de rotura obtidos por NONVEILLER [11] em «marga xis-

tosa» não estão abrangidos nem pelas regras mais severas.

A importância das deformações no interior dos maciços rochosos, resultante da acção das pressões, pode avaliar-se mesmo que não apareçam efeitos à superfície, por controle apertado da evolução da pressão de injecção e das absorções. Quando se dá uma súbita queda de pressão, pode admitir-se que isso corresponda a uma rotura, mas também pode corresponder ao desfazer de um rolhão de cimento, no entanto, neste caso, deve ser de duração reduzida. Se a pressão de injecção for superior à pressão da cobertura de terrenos no troço em tratamento e se após a queda de pressão esta se mantiver num valor próximo ao da cobertura de terrenos, está-se a produzir fracturação horizontal, que é a situação mais desfavorável que pode ocorrer.

Parece que terá de ser feito um esforço tendente a esclarecer o que se passa nos deslocamentos internos durante as injecções, especialmente numa fase experimental inicial em que se acertam os planos de injecção. Neste sentido se tem realizado um controle de caudais absorvidos com dispositivos automáticos que interrompam a injecção quando ultrapassados certos limites [12]. Infelizmente estes sinais são dados pelos efeitos e servem apenas para limitar os danos. Pelo exposto, consideramos da máxima importância o estudo geológico e estrutural de pormenor para melhor se orientarem e interpretarem os resultados dos ensaios. Como estudos recentes de muito interesse referimos os de N. GROSSMANN [13], D. SNOW [14], C. LOUIS [15] e O. FRANCISS [16] pela informação que permitem obter.

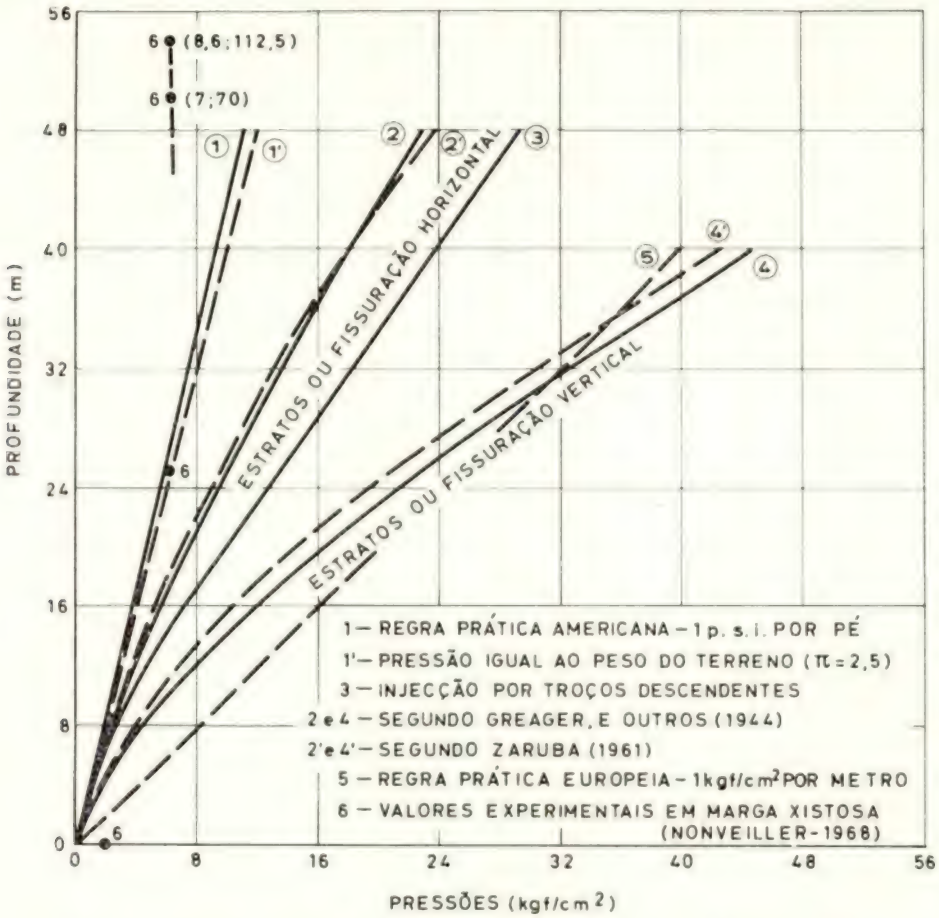


Fig. 4 — Evolução das pressões de injecção máximas com a profundidade segundo vários autores.

4 — AS INJECÇÕES E A RESISTÊNCIA AO CORTE DOS TERRENOS TRATADOS

Nos solos, a uma melhoria substancial na deformabilidade corresponde geralmente um benefício na capacidade resistente. É mesmo em termos de capacidade resistente que usualmente se faz a verificação dos tratamentos por injecções, e se procede a experiências laboratoriais. Nos maciços rochosos estas questões são tra-

tadas usualmente apenas em termos de deformabilidade, dada a dificuldade de proceder a ensaios de resistência significativos.

Se considerarmos o critério de rotura de Mohr-Coulomb (fig. 5), a introdução no terreno de uma pressão de injecção p^i pode originar uma redução na capacidade resistente durante a fase de injecção e mesmo permanente se não se dissiparem, por escoamento da fase líquida, as tensões criadas. A questão resultará diferente se após a presa a envolvente de Mohr-Coulomb passar a ser outra, correspondente a um

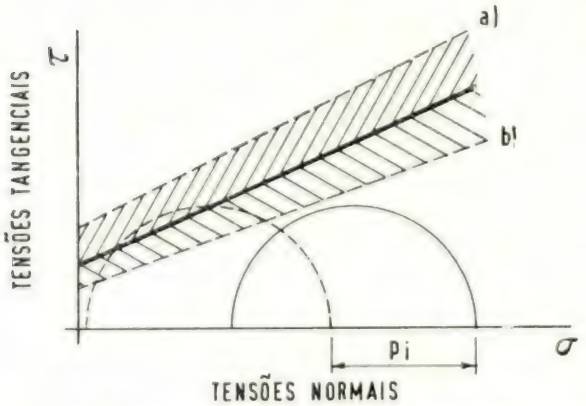


Fig. 5 — As injecções e a resistência intrínseca dos maciços injectados.

aumento ou redução na resistência intrínseca, que estão representados na fig. 5 pelas rectas a) e b), respectivamente. É nestes dois campos que se situam os autores que apoiam e não apoiam a utilização de injecções, quando são envolvidas questões de resistência.

É aceite geralmente que a redução na deformabilidade resultante da injecção de maciços rochosos fissurados acarreta um comportamento mais uniforme por melhor distribuição das tensões devidas às forças aplicadas pela obra. No entanto, em termos de resistência ao deslizamento de fissuras, a questão pode ser diferente de acordo com o nível de deformações introduzidas pela injecção e a reversibilidade ou irreversibilidade das mesmas deformações. Com efeito, por análise de resultados de ensaios de deslizamento, admite-se [17] que a coesão aparente resulta do efeito de galgamento de rugosidades; se a injecção eliminar esse efeito de galgamento reduz automàticamente o valor da coesão aparente. As consequências serão tanto piores quanto mais reduzidas forem as propriedades resistentes da ligação da calda injectada à rocha e da própria calda de injecção.

No caso do cimento são bem conhecidos os efeitos nocivos, especialmente das argilas, na sua aderência à rocha. Desde que estas não existam, o poder de adaptação do cimento hidratado às rugosidades permite excelente aderência mecânica, a qual só é diminuída quando se estabelecem condições favoráveis ao crescimento de cristais, sobretudo os de formas planas como a portlandite. Este último fenómeno acontece especialmente como consequência do efeito «bleeding», mesmo moderado, e manifesta-se nas injecções com caldas de cimento instáveis pelo aparecimento de camadas esbranquiçadas, atingindo maior ou menor espessura, de aspecto pulverulento, cujas qualidades de ligação à rocha são deficientes.

Com base em ensaios laboratoriais procurámos [18] determinar os efeitos dos parâmetros considerados mais importantes, relação W/C, tipo de rocha, rugosidade de superfícies e pressão de injecção, na resistência ao corte em planos de fissuras finas preenchidas com calda de injecção. No modelo adoptado, cada conjunto de dois prismas de rocha, com secção 10 × 10 cm² definia uma fissura com uma abertura fixa de 1 mm, a preencher pela calda de injecção. A acção de pressão durante a presa que se reproduziu apenas em alguns ensaios foi a de uma pressão hidrostática que envolvia os provetes e a calda de injecção.

Embora não existisse pròpriamente injecção pela ausência de pressão e contrapressão do meio ambiente, com frequência surgiram aspectos característicos de injecções reais, como, por exemplo, preenchimentos incompletos sob a forma de bolhas ou espaços semelhantes a meandros revestidos de cristais mais ou menos desenvolvidos.

Os ensaios de corte a que se procedeu foram realizados numa máquina que dispunha de dois macacos hidráulicos, um horizontal e outro vertical. Durante cada ensaio dos prismas injectados, com a fissura na posição horizontal, a força vertical era mantida constante por uma câmara de ar comprimido enquanto lentamente se aumentava a força horizontal (tangencial) até à rotura, sendo controlados os deslocamentos horizontais por deflectómetros.

Dos resultados dos ensaios concluímos ser primordial a importância da relação W/C. Enquanto para W/C = 0,5 (em peso) a ligação se podia considerar boa, nìtidamente coesiva, para W/C = 1,5, logo que as tensões normais subiam a um valor da ordem de 5 kgf/cm², a ligação parecia desaparecer e subsistir apenas a resistência devida ao deslizamento. Aliás uma conclusão semelhante já apareceu na literatura [19], mas referida aos ensaios de corte da ligação betão-rocha.

Em relação à influência do tipo de rocha, pareceu verificar-se, conforme a experiência sugere, que os calcários davam ligações superiores às outras rochas, em igualdade de rugosidade superficial, pela possibilidade de existência de ligações de tipo químico, mas de um modo geral foi dominante o factor rugosidade.

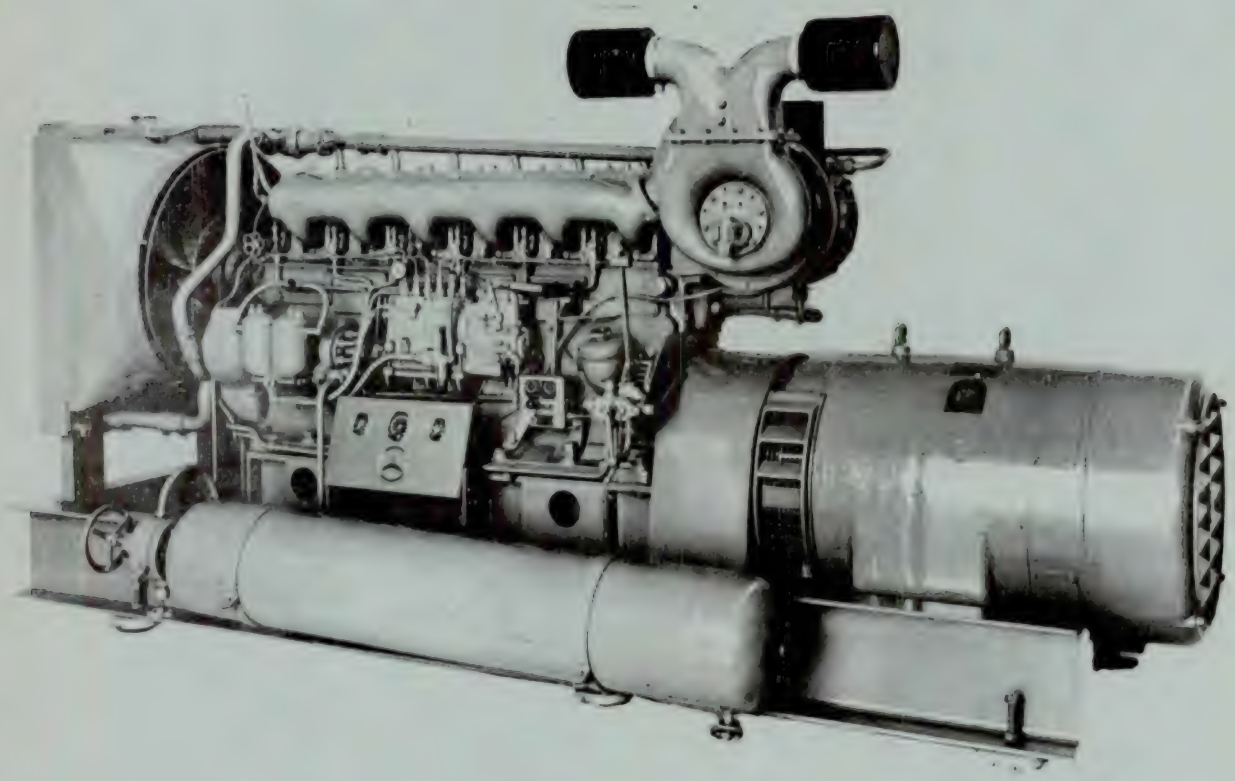
Pode mesmo admitir-se que, pelo efeito deste factor, associado à facilidade de moldagem do cimento, a superfície de rotura por esforços de corte se possa desviar muitas vezes da superfície de ligação «rocha-calda de injecção», de acordo com as suas resistências relativas, conforme aconteceu em muitos ensaios.

Já em relação à acção da pressão de confinamento não se verificaram resultados substancialmente diferentes dos obtidos à pressão ambiente.

Para facilidade de comparação dos resultados dos ensaios, definimos (fig. 6) um parâmetro (A), que numa representação gráfica não é mais do que a área definida

MERCEDES-BENZ

MOTORES DIESEL



DE ALTA QUALIDADE E DE GRANDE RENDIMENTO PARA TODOS OS FINS

REPRESENTANTE:

MENDES DE ALMEIDA, SARL

OFICINAS ESPECIALIZADAS — ARMAZÉNS — STAND VENDAS

AV. 24 DE JULHO, 52-A-G — LISBOA — TELEF. 667710

NOS
LABORATÓRIOS
SUBTERRÂNEOS DA
SKF UM CIENTISTA OCU-
POU-SE DURANTE ANOS A APER-
FEIÇOAR A MÁQUINA DESTINADA A RE-
VOLUCIONAR OS FUNDAMENTOS DA TECNOLOGIA
DOS ROLAMENTOS.

Se não parecemos preocupados, devíamos parecer. Este aparelho vai causar grande agitação entre aqueles que lidam com rolamentos e são muitas mais pessoas do que as que podemos imaginar. Este é o primeiro sistema que permite o controle do estado dum rolamento e que pode prever com certa antecedência uma futura avaria. Em primeiro lugar, vai ajudar o utilizador dos rolamentos, pois irá indicar quando e porque se devem substituir. Vai ajudar, também, os nossos concorrentes, pois os seus clientes podem avisá-los com uma certa antecedência de que vão ter que substituir um rolamento. Enfim, a manutenção preventiva atingiu uma nova era.
Se quer saber mais pormenores, informe-se na

SKF

LISBOA
PRAÇA DA ALEGRIA, 66-A TELEF.: 362301 TELEGR.: ESKAEF

PORTO
RUA DELFIM FERREIRA, 604 TELEF.: 892054 TELEGR.: ESKAEF

por duas rectas a) $\tau = C_1 + \sigma \text{ tg } \varnothing_1$ e b) $\tau = C_2 + \sigma \text{ tg } \varnothing_2$, ditas de Coulomb, relativas aos resultados que se pretendia comparar, e pelo eixo dos (τ). A evolução dessa área com as tensões normais é dada pela equação

$$A = K_1 \sigma + K_2 \sigma^2$$

em que

$$K_1 = C_1 - C_2 \text{ e } K_2 = \frac{\text{tg } \varnothing_1 - \text{tg } \varnothing_2}{2}$$

Na fig. 7 representamos as curvas obtidas com superfícies planas de granito, quando se comparam as rectas de Coulomb obtidas nos ensaios de corte da ligação «rocha-calda de injecção» a) e nos ensaios de deslizamento que se lhe seguiram b). As diferentes curvas correspondem aos materiais de ligação, C (cimento simples), 5 BE (5% de bentonite + 95% de cimento), 15 P (15% de pozolana de sup. esp. 4800 Blaine + 85% de cimento), CS/ESP (cimento simples, sem espaçadores definidores de espessura da fissura), C/BE (cimento simples, superfícies de rocha revestidas com bentonite). Todas as curvas correspondem a ensaios realizados aos 28 dias de tempo de cura com excepção das indicadas com 3M ou 6M que foram ensaiadas, respectivamente, aos 3 e 6 meses de idade.

Além da nítida diferença de resultados com W/C = 0,5 e 1,5 deve referir-se que, neste último caso em especial, K_2 é por vezes negativo o que parece absurdo mas resulta apenas de se confirmar a redução crescente com as tensões normais da ligação «rocha-calda de injecção». No caso especial de não se terem usado

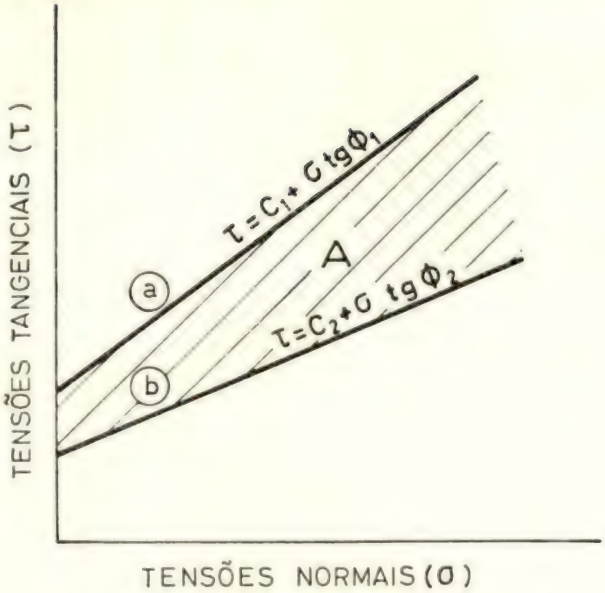
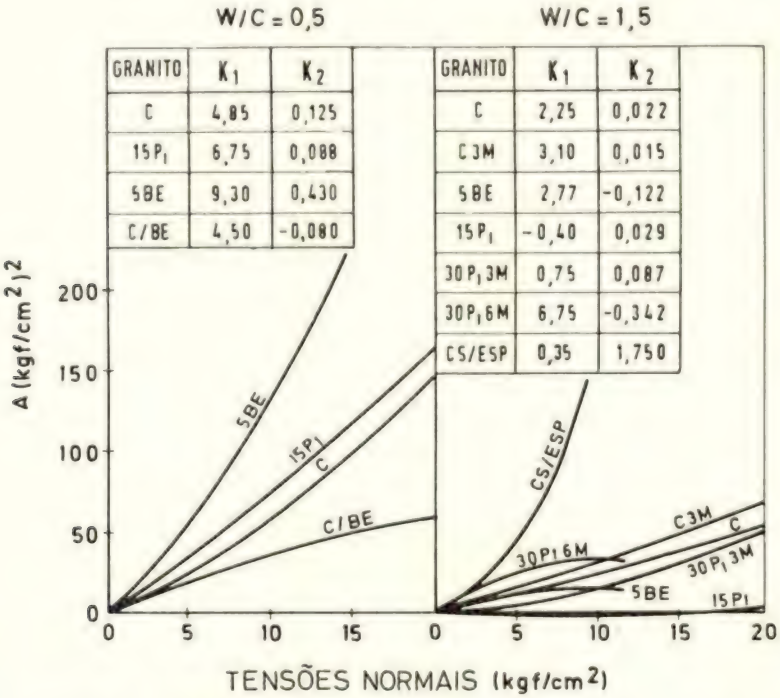


Fig. 6 — Definição do parâmetro A.

espaçadores, o que permitiu uma expulsão de água excedente e portanto redução do valor inicial da relação W/C e do efeito «bleeding», foi bem evidente a acção benéfica que se atribui habitualmente à contrapressão. Resultado anómalo na relação A/C = 0,5 foi o caso de C/BE com uma ligação coesiva típica das argilas.

Ainda em relação a superfícies planas de granito representamos na fig. 8 a comparação de resultados dos ensaios de deslizamento «rocha-calda de injecção» e



GRANITO	K_1	K_2
C	4,85	0,125
15P1	6,75	0,088
5BE	9,30	0,430
C/BE	4,50	-0,080

GRANITO	K_1	K_2
C	2,25	0,022
C 3M	3,10	0,015
5BE	2,77	-0,122
15P1	-0,40	0,029
30P1 3M	0,75	0,087
30P1 6M	6,75	-0,342
CS/ESP	0,35	1,750

Fig. 7 — Comparação de resultados de ensaios de corte da ligação "rocha-calda de injecção" e de ensaios de deslizamento que se lhes seguiram, em diaclases artificiais planas de granito

«rocha-rocha» antes de injecção. Com excepção das misturas C e C/BE, o valor da resistência ao deslizamento «rocha-calda de injecção» foi superior ao de «rocha-rocha»; deve referir-se no entanto que o grau de preparação das superfícies da rocha levou o valor do coeficiente de atrito médio a 0,472, enquanto o valor médio do mesmo coeficiente mas referente ao deslizamento «rocha-calda de injecção» foi de 0,571.

A situação relativa à fig. 8 corresponde talvez mais a situações reais na natureza que a anterior, admitindo por um lado que as caldas de injecção mais diluídas não chegam a dar pròpriamente ligação à rocha e resistem apenas pelo atrito, e por outro que a variação de solicitações também conduz à anulação das ligações mais fracas.

Nos ensaios realizados com diaclases naturais de

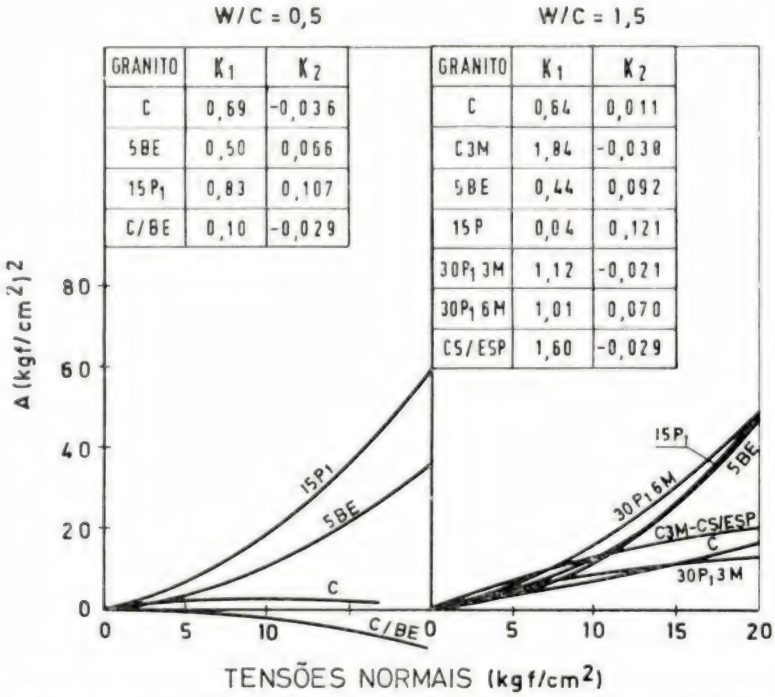


Fig. 8 — Comparação de resultados de ensaios de deslizamento "rocha-rocha" e "rocha-calda de injecção" em diaclases artificiais de granito.

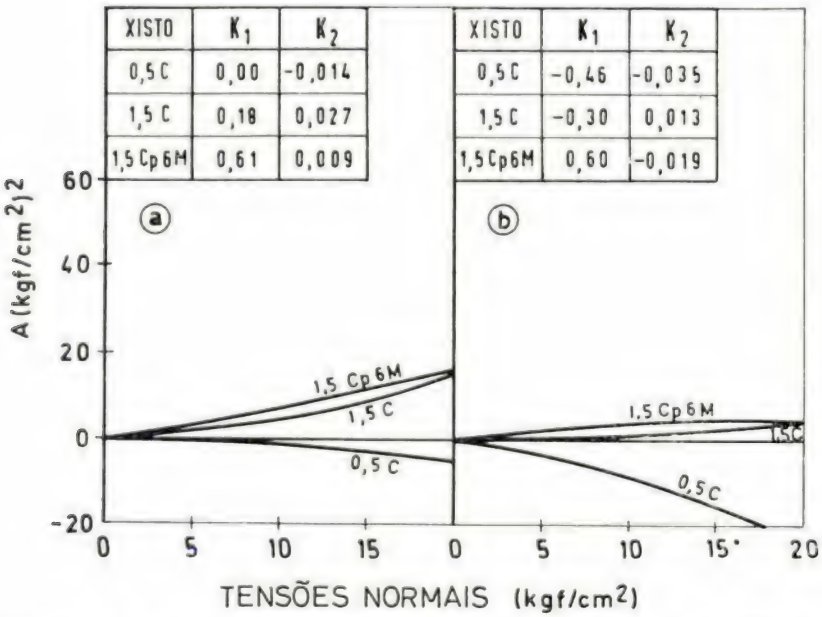


Fig. 9 — Comparação de resultados de ensaios de deslizamento "rocha-rocha" e "rocha-calda de injecção" em diaclases naturais de xisto argiloso para valores máximos a) e valores de cedência b).

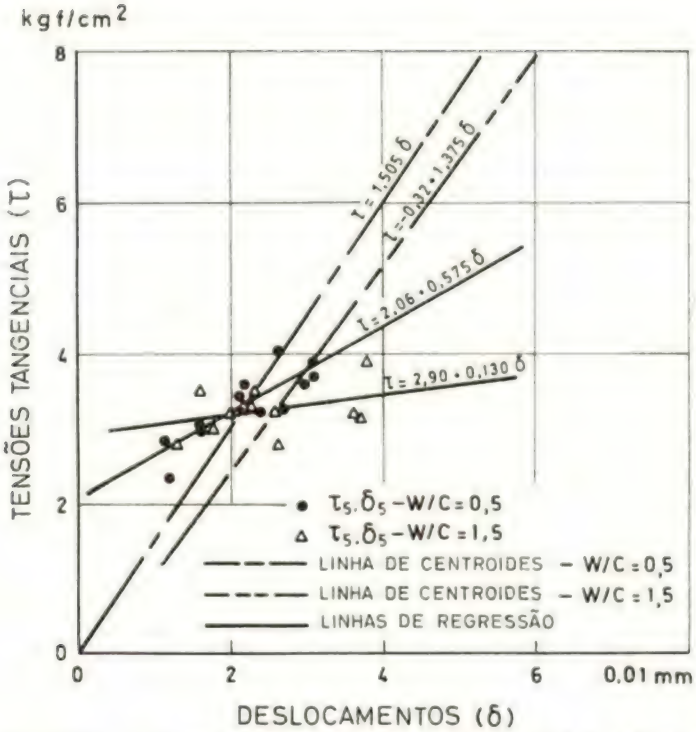


Fig. 10 — Deslocamentos tangenciais de cedência, sob uma tenção normal de 5 kgf/cm2, em ensaios de deslizamento "rocha-calda de injecção" em diaclases artificiais planas.

xistos argilosos os resultados sintetizados na fig. 9 mostram, por comparação das resistências ao deslizamento, quer de valores de cedência a) quer de valores máximos, b) que o benefício com a injecção foi diminuto ou negativo. Admitimos que a redução de contactos rochosos tornou a resistência ao deslizamento muito dependente das qualidades resistentes da calda de injecção, neste caso, inferior à da rocha.

Em relação aos deslocamentos de cedência, representamos na fig. 10 os resultados obtidos em múltiplos ensaios de deslizamento com injecção de superfícies planas, em que se comparam as tensões tangenciais de cedência com os deslocamentos correspondentes a dada tensão normal, neste caso 5 kgf/cm^2. É evidente a correlação linear crescente, significando, em termos de aviso pré-rotura, que quanto maior for a resistência ao deslizamento maior é a deformação pré-rotura. As linhas dos pontos centróides correspondentes a várias tensões normais traçadas na mesma fig. 10 conduzem a uma conclusão semelhante.

Na fig. 11 apresentamos resultados semelhantes mas relativos às diaclases naturais de xistos argilosos e xistos grauvacóides, representando-se apenas as linhas de centróides. De notar a redução dos deslocamentos de cedência quando se passa de deslizamentos «rocha-rocha» para «rocha-calda de injecção».

5 — MODELO DO MACIÇO ROCHOSO FISSURADO PARA ENSAIOS DE INJECÇÃO

No sentido de experimentar a viabilidade de um sistema de ensaio que permitisse apreciar os efeitos da pressão de injecção na abertura das fissuras, idealizámos e construímos um modelo de maciço rochoso fissu-

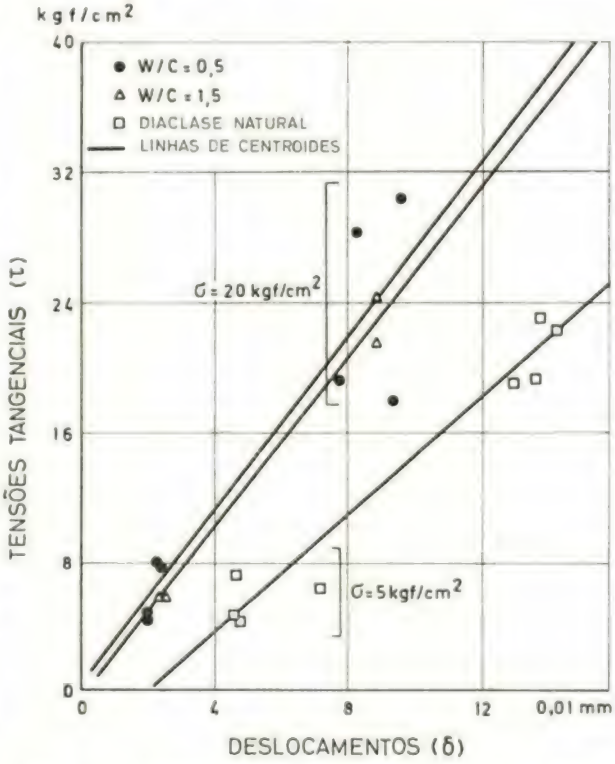


Fig. 11 — Deslocamentos tangenciais de cedência em ensaios de deslizamento "rocha-rocha" e "rocha-calda de injecção" em diaclases naturais de xistos.

rado, destinado apenas a um estudo qualitativo dos fenómenos ocorrentes durante a injecção.

Na fig. 12a) representamos um esquema do modelo usado, em que uma caixa rígida — em «perspex», por ser transparente — envolve três fiadas de prismas rectangulares do mesmo material. Definimos deste modo três famílias de diaclases, cuja espessura se podia fazer variar. Em três faces triortogonais, entre os prismas e a caixa, utilizámos camadas de «poliester» expandido, cujo módulo de deformabilidade de cerca de 4 kgf/cm^2

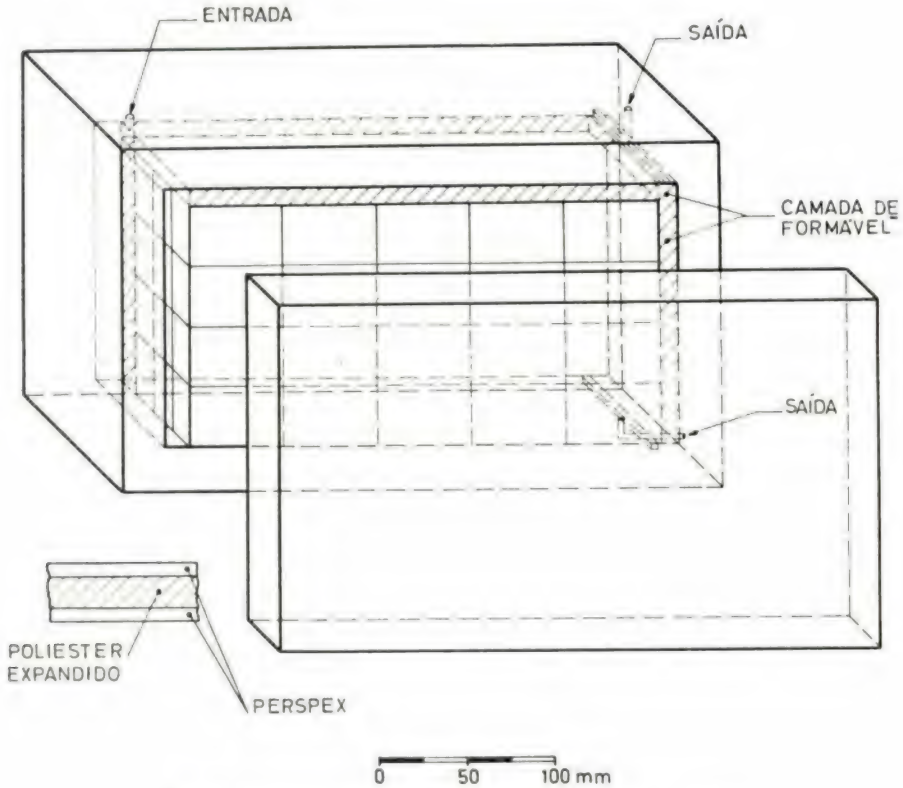


Fig. 12a) — Esquema de caixa-modelo para estudos de injecções.

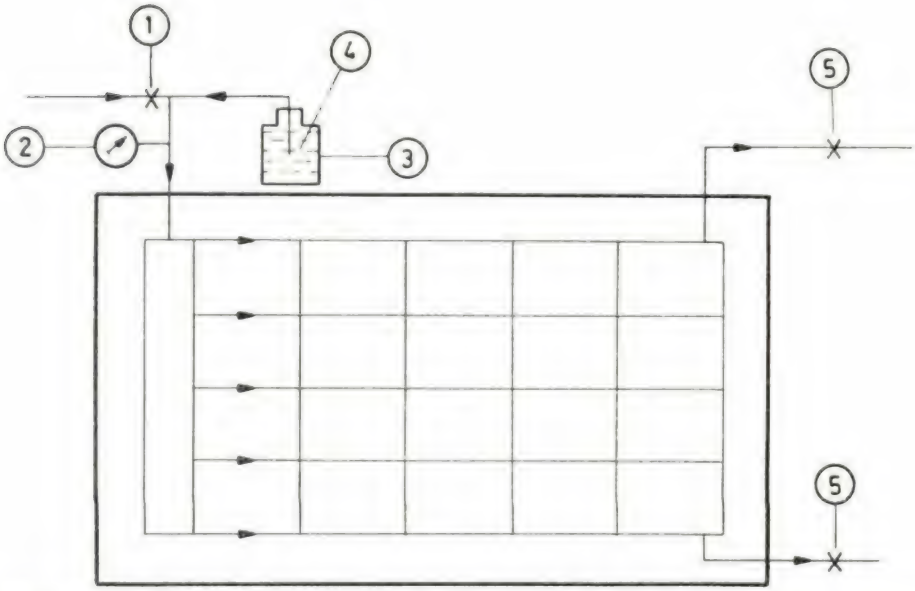


Fig. 12b) — Diagrama do circuito hidráulico de caixa-modelo: 1) Válvula de entrada, 2) manómetro, 3) recipiente deformável, 4) caída de injecção, 5) válvulas de saída.

permitiu obter grandes deformações, de acordo com a espessura utilizada, mesmo para pressões não excedendo nunca 0,5 kgf/cm^2.

Na fig. 12b) esquematizamos o circuito hidráulico utilizado, cuja fonte de pressão foi a água do circuito geral das instalações a qual, por sua vez, arrastava a suspensão, desde que se pressionasse a garrafa deformável.

Deste modo foi fácil, nos poucos ensaios realizados, verificar a perfeita deformabilidade do sistema e experimentar vários métodos de injecção, podendo concluir-se o seguinte:

a) De um modo semelhante ao que se verifica na prática, em que, por vezes, de uma mesma família de fissuras umas são injectadas e outras não, as experiências com o modelo mostraram que, uma vez iniciada a absorção em uma fissura, mesmo em grau reduzido, dificilmente outra paralela absorvia, mesmo se se interrompesse a injecção. Em outros casos as próprias condições de escoamento tornavam passivas algumas fissuras, sem circulação portanto, e a absorção de suspensão não podia dar-se.

b) Foram verificadas diferenças notórias entre os dois métodos gerais de injecção, ditos Americano e Europeu [20], nos quais respectivamente se procede com a pressão máxima logo de início ou se procede com pressões crescentes até ao valor limite. No primeiro caso, como a prática parece confirmar, as fissuras eram postas no máximo de abertura logo de início, antes de se darem obturações de algumas delas, cujas limitações geométricas impedem a penetração, em oposição ao segundo critério que chegou a dar obturações totais sem a mínima penetração de suspensão.

6 — CONCLUSÕES

a) É muito simples estimar a resistência e relação W/C de caldas de injecção à base de cimento pela medição da porosidade aparente i_0, o que pode ser importante em campanhas experimentais ou de controle. Por este meio é fácil, por exemplo, comparar o grau de consolidação ou sedimentação de diferentes caldas de injecção e de condições de injecção diversas. De algumas medições efectuadas em amostras extraídas de duas fundações, injectadas em condições correntes, obtivemos valores semelhantes na relação W/C, entre 0,4 e 0,6 (em peso). Seria no entanto necessário fazer medidas em maior número para se poderem tirar conclusões.

b) É determinante na resistência ao corte da ligação «rocha-calda de injecção» o valor da relação W/C da calda de injecção. Parece, deste modo, que deve ser evitado o uso de suspensões de cimento diluídas, sempre que se trate de problemas de consolidação de maciços rochosos fissurados; caso contrário, deveria ser feito, em cada caso, um estudo pormenorizado dos tipos de cimento disponíveis, de modo a eleger o que desse produtos finais sedimentados mais densos e resistentes.

c) É muito importante limitar as pressões máximas de injecção a valores que introduzam apenas deformações reversíveis nas fissuras, de modo a beneficiar-se do efeito consolidante da contrapressão e a não se anularem os contactos rochosos. De facto, o considerável efeito das rugosidades no valor da resistência ao deslizamento pode ser muito reduzido se se anularem ou reduzirem esses contactos rochosos, em troca de contactos através de calda de injecção sedimentada, cujas propriedades resistentes são de valor discutível.

d) É muito importante o reconhecimento prévio de pormenor, quer do ponto de vista puramente geológico, quer no campo estrutural, relativamente à caracterização da rede de fissuração. Mesmo os estudos geotécnicos de caracterização mecânica do maciço rochoso em questão deverão ser tidos em conta.

e) É de muito interesse a conclusão experimental de que os deslocamentos pré-rotura, da ligação «rocha-calda de injecção», se reduzem muito quando se passa de corte pròpriamente dito para o deslizamento. Além disso, verifica-se que, a uma dada tensão normal, as tensões tangenciais de cedência são directamente proporcionais aos deslocamentos, quer dizer, quanto mais fraca for a ligação menores serão os deslocamentos pré-rotura.

f) O estudo das condições de injecção, em modelo que permita reproduzir a acção de deformação das pressões, é possível e muito elucidativo de situações reais.

AGRADECIMENTOS

Este trabalho é baseado numa tese apresentada a concurso no Laboratório Nacional de Engenharia Civil(LNEC). Ao Director Eng.° Manuel Rocha e aos Eng.os António da Silveira, Chefe do Serviço de Barragens, e Fernando Peres Rodrigues, Chefe da Divisão de Fundações e Túneis, o autor deve o maior apoio.

BIBLIOGRAFIA

[1] — PRICE, W.; SIMONDS W. — Contraction joint grouting of large dams. Proc. A. C. I. Vol 43 - - 1957.

[2] — URIEV, N. B. (and al.) — Investigation of grouts on colloidal cement glue base for monolithizing elements of hydraulic structures. Hydrotechnical Construction - No. 1 Jan. 1967.

[3] — PAPADAKIS, M. — Rhéologie des suspensions de ciment. Revue des materiaux de construction - May 1955.

[4] — POWERS, T. C.; BROWNYARD, T. L. — Studies of the physical properties of hardened portland cement paste Proc. A. C. I. Vol. 43 - 1974.

[5] — POWERS, T. C. — Physical properties of cement paste. A. C. I. Bulletin 154 - 1960.

[6] — DZULINSKY, M. — Relation entre la resistance et l'hydratation des liants hydrauliques. XXX Congrès Int. de Chemie Industriel à Liège-1958.

[7] — KOWALSKI. W. C. — The interdependence between the strength and voids ratio of limestones and marls in connection with their water saturation and anisotropy. Proc. 1st Congress of Rock Mechanics - Lisboa 1966.

[8] — CAMBEFORT, H. — Injection des sols. Ed. Eyrolles - Paris 1964.

[9] — COOK, H. K.; KENNEDY, T. B. — Pressure grouting of fine fissures. Corps of Engineers, U. S. Army, Vicksburg 1956.

[10] — LONDE, P.; SABARLY, F. — Écoulement de percolation dans les massifs rocheux servant d'appui aux barrages. La Houille Branch — n.° 1 - - 1967.

[11] — NONVEILLER — Grouted cut-off curtains in fissured rocks. Symposium on Rock Mechanics Madrid 1968.

[12] — BENKO, K. F. — Large scale experimental rock grouting for portage Mountain dam. VIII Congrès des grands barrages - Edimburg 1964.

[13] — GROSSMANN, N. — Discussion on Symposium on Rock Mechanics - Madrid 1968.

[14] — SNOW, D. T. — Rock Fracture spacings, openings and porosities. Soil Mechanics and Foundation Division - ASCE. Janeiro 1968.

[15] — LOUIS, C. — Étude des écoulements d'eau dans les roches fissurés et de leurs influences sur la stabilité des massifs rocheux — Electricité de France n.° 3 - Série A - 1968.

[16] — FRANCISS, F. O. — Contribuition à l'étude du mouvement de l'eau à travers milieux fissurés — Theses — Faculté des Sciences de l'Université de Grenoble.

[17] — PATTON, F. — Multiple modes of shear failure in rock and related materials - Ph. D. Thesis, Univ. Of Illinois, 1966.

[18] — BARROSO, M. — Caldas de injecção à base de cimento-Contribuição para o estudo da sua influência na resistência ao corte de maciços rochosos — L. N. E. C., Agosto de 1969.

[19] — RUIZ, M. (and al.) — Some considerations regarding the shear strength of rock masses. Symposium on Rock Mechanics - Madrid 1968.

[20] — SABARLY, F. — Les injections et les drainages de fondations de barrages en roches peu perméables. Geotechnique, June 1968.

robustez começa com TOYOTA

A linha industrial TOYOTA
(empilhadores, tractores de reboque
e pás carregadoras)
beneficia de **garantia total TOYOTA**
pois é integralmente fabricada pela
TOYOTA

Empilhadores com poder de elevação
desde 700 kg a 10 toneladas
Assistência técnica, serviço e peças
em todo o País.

CONSULTAS — **SALVADOR CAETANO, SARL**
VILA N. GAIA — Quilómetro 1, E. N. 222 — Tels.: 98 27 53 e 98 29 92
LISBOA — Av. da República, 45, 7.º-Esq. — Tels.: 76 21 33 e 77 32 88

TOYOTA — uma força nova para a indústria

monte a transmissão completa utilizando

OS PRODUTOS

RENOLD

PARA A TRANSMISSÃO DE FORCA

- serie padrão em estoque até 30.000 lbf de carga de ruptura.
- serie padronizada até 85.000 lbf de carga de ruptura.
- fabricamos tambem as correntes até 300.000 lbf.
- Correntes com proteção metalica, não ferrosa, contra a corosão.
- correntes com chapas transportadoras em aço inoxidavel para o transporte de garrafas, latas etc.
- Correntes para a transporte em nivel superior inclusive os tipos bi-planares para operação em planos multiplos.
- correntes de transmissão adaptadas para fins de transporte.

* ou acionamento à corrente, redutor, luva de acoplamento, embreagem, freio, variador de rotação etc.

Informações tecnicas sobre a linha completa de produtos RENOLD na

RENOLD HOLROYD Crofts CARTER

HARKER SUMNER & CIA. LDA.
38 Rua de Ceuta, 48 PORTO
Apartado No. 162. Tél: 27054 (4 linhas)

14 Largo do Corpo Santo, 18 LISBOA-2
Tél: 324823, 35124.

RENOLD

RENOLD LIMITED
SALES DIVISION
MANCHESTER · ENGLAND

C. D. U. 621.791.004.64

PERSPECTIVAS DA EVOLUÇÃO DOS CRITÉRIOS DE ACEITAÇÃO DOS DEFEITOS DE COMPACIDADE EM SOLDADURAS (*)

pelo Eng.º SALGADO PRATA
Assist. I. S. T.

RESUMO

Para garantir a segurança das construções metálicas contra o risco de ruptura frágil, os critérios tradicionais de aceitação de defeitos de compacidade, podem falhar por defeito e também por excesso.

A mecânica da fractura permite o estabelecimento de critérios correctos que já são aplicados em circunstâncias particulares. A utilização destes novos critérios implica o conhecimento da tenacidade à fractura dos materiais, cuja determinação já é feita no nosso país.

SYNOPSIS

To garantee the safeness in the metallic construction against the risk of brittle fracture, the tradicional judgement about the acceptance of compacity lacks, may fail by unsufficiency and also by excessiveness.

However, correct criteria can be stablished by the fracture mechanics and these are in use under special circunstances.

But the use of these new criteria implies a previous knowledge of the notch toughness of the materials, the evaluation of which is already done in our country.

A análise da importância dos defeitos de compacidade encontrados nas soldaduras, é geralmente feita de acordo com o código sob o qual se orienta desde o projecto a construção soldada. Outras vezes porém pretende-se fazer com a inspecção não destrutiva uma análise final do grau de qualidade duma construção que não foi, ou pelo menos a entidade inspectora desconhece, regida desde o projecto por um código. Nesta situação ingrata a equipa de inspecção que não deve ser constituída por um unico indivíduo mas por um grupo que inclua especialistas de projecto, metalurgia, tecnologia da soldadura e controle não destrutivo, procurará definir — em face dos riscos que acarretariam o colapso das construções — como sejam acidentes humanos, prejuízos económicos correspondentes à perda do equipamento e/ou indirectamente provocados — das condições de serviço — isto é valor e natureza dos esforços, temperatura, agressividade química dos produtos em contacto com a construção — das características metalúrgicas e mecânicas dos metais aplicados, e das condições de fabricação isto é, corte, soldadura, enformações a quente ou a frio e tratamentos térmicos — os defeitos admissíveis, nomeadamente o tipo, orientação, localização e dimensões dos defeitos de compacidade.

Recorre-se então a um estudo comparativo para fixar os níveis de defeitos admissíveis. Este estudo envolve diversas dificuldades. Assim por exemplo o valor da tenacidade, básico para se estabelecer a comparação, é fixado correntemente em termos de resiliência. Mas a resiliência não representa nenhum parâmetro fundamental a partir do qual se possam efectuar cálculos da resistência à fractura. O ensaio de resiliência é um ensaio prático que deve ser utilizado para comparação, subentendendo-se que os níveis de resiliência a exigir foram fixados por ensaios que determinem grandezas fundamentais ou por medição sobre construções similares que prestaram boas provas em serviço. Por inadvertência pode-se ser levado a exigir para um dado aço um valor mínimo que a experiência só comprovou ser suficiente para outro tipo de aço ou para espessuras inferiores. Os níveis de defeitos estabelecidos por um estudo comparativo têm assim muitas possibilidades de serem arbitrários, dando origem a uma falta de segurança ou a um custo desnecessàriamente elevado para as obras.

Se a obra for de custo reduzido, em vez de fazer o estudo comparativo pode ser mais económico, embora menos correcto, ser-se mais exigente no controle, isto é gastar-se mais nas reparações adoptando critérios drásticos, como seja o de reparar todos os defeitos encontrados. Na prática procura-se não se incorrer neste extremo não só por razões económicas mas ainda por

(*) Artigo recebido em 30-7-71

a reparação dum ninho de poros, por exemplo, poder dar origem a defeitos planos, não detectáveis pelos métodos de inspecção não destrutiva utilisados, que conjuntamente com as tensões residuais sejam mais prejudiciais que o ninho de poros.

Também as construções regidas desde o projecto por um código podem ser afectadas dos mesmos erros. Na verdade os defeitos e os respectivos valores indicados como máximos admissíveis não são suficientemente descriminados em relação às tensões aplicadas, temperaturas de serviço, materiais, espessuras e tratamentos térmicos; ora por exemplo no que respeita ao material é claro que todas as outras condições iguais, as dimensões dos defeitos poderão ser tanto maiores quanto mais tenaz for o material; uma obra submetida a tratamento térmico poderá admitir defeitos maiores do que quando não tratada; em correspondência com cada um dos outros factores citados poder-se-ão formular críticas análogas. Por outro lado os códigos não admitem em regra defeitos planos quando na realidade em certas circunstâncias poderiam ser aceites. Ainda, tal como foi verificado pela Sub-Comissão V-F do Instituto Internacional de Soldadura, diversos códigos estipulam para os mesmos produtos, exigências diversas.

As razões apontadas desencadearam investigações e estudos visando a racionalização dos critérios de aceitação de defeitos, que futuramente conduzirão à reestruturação dos códigos. Assim têm sido apresentados trabalhos, realizadas conferências e apresentadas propostas de recomendações, nomeadamente na Grã-Bretanha, Bélgica, Japão, Estados Unidos, União Soviética etc. No seio do Instituto Internacional de Soldadura o assunto tem retido as atenções. Ainda na sessão inaugural da Assembleia Anual de 1970, o seu presidente chamou a atenção para a importância do problema, congratulando-se com a actividade desenvolvida no referido domínio e dando sugestões de pontos que necessitam de estudo. Para a Sub-Comissão V-F — «Significado dos defeitos nas soldaduras», o problema em causa representa a sua principal razão de ser. Na Comissão XIII — «Fadiga nas construções soldadas», têm sido realizados diversos trabalhos sobre o assunto; o seu presidente reconheceu que o problema constitui um dos objectivos mais importantes do trabalho da Comissão. Na Comissão X — «Ruptura frágil, tensões residuais, relaxação de tensões» foi criado um grupo de trabalho com o objectivo de coligir e sintetizar os trabalhos publicados sobre o assunto.

Toda esta actividade visa proporcionar os meios que permitam determinar as dimensões máximas admissíveis para os defeitos, em função das condições de serviço e da tenacidade à fractura, da pior zona da obra determinada sobre provetes fidedignos da mesma.

O conhecimento do valor da tenacidade à fractura, permitirá calcular as dimensões máximas admissíveis para os defeitos mais perigosos de soldadura — fissuras, faltas de fusão, faltas de penetração, normais à superfície de chapas. Poder-se-à ter uma ideia das dimensões admissíveis para os outros defeitos — bordos queimados, inclusões de escória e inclusões gasosas — assimilando-os para efeitos de cálculo a defeitos planos; é claro que os valores são assim calculados por defeito e representam um limite inferior de aceitação.

O procedimento referido, constitui um método racional, que dentro da segurança conduz à máxima economia no que respeita à exigência de reparações, que por outro lado são por vezes mais prejudiciais do que benéficas. Se tal procedimento for aplicado desde a fase do projecto, poderá eventualmente conduzir a uma economia ainda maior, pela escolha de materiais mais tenazes, que admitem defeitos de maiores dimensões, de tal forma que o que se poupa em reparações compense com excesso o custo mais elevado dos materiais.

O procedimento racional implica porém a realização de ensaios não generalizados e mais dispendiosos que os tradicionais como seja o clássico ensaio Charpy.

O Instituto de Soldadura procura manter-se ao corrente da evolução do problema e simultâneamente preparar-se para estar habilitado a realizar os novos ensaios que vão ser necessários. Foram assim montados os ensaios de deslocamento da abertura da fenda — designado na literatura anglo-saxónica por COD — e Charpy instrumentado, respectivamente no Laboratório Nacional de Engenharia Civil e no Instituto Superior Técnico.

Antes porém de falarmos sobre estes ensaios, vejamos sumàriamente os seus fundamentos.

Consideremos um diagrama força de tracção — deformação de uma parte de qualquer estrutura metálica sem defeitos (fig. 1).

Se o metal contiver um defeito de compacidade, de forma, dimensões, posição e orientação (relativamente às tensões aplicadas) determinados, a ruptura dar-se-à para um valor da deformação que é função da tenacidade do metal e sob a acção duma tensão nominal inferior à correspondente ao diagrama.

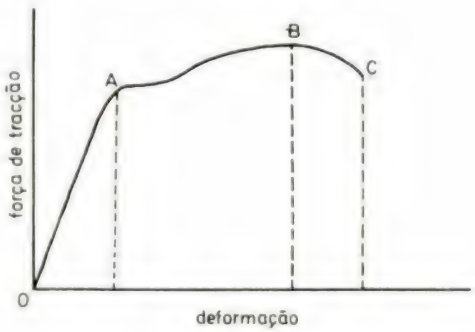


Fig. 1

Se a ruptura se der na região $\overline{OA}$ trata-se duma ruptura sem deformação plástica, portanto frágil. Na região $\overline{BC}$ será uma ruptura com estricção, portanto dúctil pròpriamente dita. Na região $\overline{AB}$ será uma ruptura com deformação plástica mas sem estrição.

Os cálculos clássicos duma estrutura pressupõem que a ruptura se dá na região $\overline{BC}$. Se devido à existência de defeitos e à insuficiente tenacidade do metal não for este o caso, isto é, se a ruptura se der antes

de B dever-se-à aplicar a mecânica da fractura. Para a ruptura frágil, ocorrida na região OA, as fórmulas a utilizar pressupõem que as extensões são elásticas. Assim por exemplo para uma fenda plana de comprimento 2a existente numa placa de grandes dimensões submetida a tensões de tracção normais à direcção da fenda, a tensão crítica σ necessária para provocar a propagação da fenda é dada por $K^2_{IC} = \pi\ a\ \sigma^2$, sendo K_{IC} o factor de intensidade de tensões, dependente do material, temperatura e em menor grau da velocidade de aplicação das tensões e da espessura. Se a ruptura ocorrer na região AB dever-se-ão utilizar fórmulas que pressupõem que a capacidade de deformação plástica localizada, por exemplo na extremidade de uma fenda, é limitada, e que uma vez ultrapassado esse valor limite se dá a ruptura. É mais fácil exprimir esta capacidade de deformação plástica localizada pelo valor total do deslocamento da abertura da fenda medido no fundo desta, inicialmente com uma abertura standardizada, e correspondente ao início da instabilidade (fig. 2 e 3).

É a este valor que se chama o C. O. D. crítico δ. O C. O. D. crítico depende do material, temperatura, espessura e velocidade de aplicação dos esforços.

O valor δ pode igualmente utilizar-se no cálculo. Assim considerando ainda o caso de uma placa de grandes dimensões, submetida a tensões de tracção uniforme e normais à direcção de uma fenda de comprimento 2a existente na placa, a tensão crítica necessária para que se dê a propagação da fenda é tal que

$$\delta = \frac{8\ \sigma_c\ a}{\pi E} \log \sec \frac{\pi\ \sigma}{2\ \sigma c}$$

sendo δ_c a tensão de cedência.

Tanto K_{IC} como δ são índices da tenacidade à fractura, isto é da resistência que o metal opõe à iniciação da fractura, que se aplicam quando as condições de serviço são tais que a fractura se dá em condições de estado plano de extensões ou estado plano de tensões respectivamente. Para os materiais de pequena e média resistência utilizados vulgarmente e para as espessuras e condições correntes de aplicação, a ruptura dá-se em estado plano de tensões e é portanto o valor de δ que se deve utilizar.

Note-se que tanto K_{IC} como δ são independentes da dimensão do defeito.

Note-se ainda que o cálculo da tensão crítica pode ser feita a partir de δ, mesmo em condições de estado plano de extensões, desde que evidentemente δ seja determinado para essas condições.

Vejamos agora em linhas gerais em que consiste o ensaio de COD. Utilizam-se provetes prismáticos fig. 2 que no ensaio são submetidos à flexão. Perpendicularmente à face submetida às maiores extensões possuem uma fenda cuja profundidade representa uma certa fracção da altura do provete. No ensaio registam-se as aberturas da fenda em função da força aplicada fig. 3 Os gráficos obtidos permitem determinar o valor da abertura de fenda a partir do qual se verifica a instabilidade. É a este valor que se chama o COD. crítico do material para a espessura, temperatura, tipo de entalhe e velocidade de ensaio utilizados. A fenda pode ser aberta por corte mecânico, utilizando um disco abrasivo ou um serrote manual com 0,15 mm de espessura, se os ensaios tiverem apenas fins comparativos, por exemplo entre diferentes materiais ou entre diversos estados metalúrgicos do mesmo material. Têm mais interesse porém os ensaios sobre provetes cuja fenda obtida por corte mecânico é prolongada por outra obtida por fadiga, pois o fundo desta última simula melhor os defeitos mais perigosos que se podem encontrar. O valor do COD obtido em provetes com fenda de fadiga, pode ser utilizado para calcular em função da tensão de serviço, as dimensões máximas admissíveis, para defeitos de geometria conhecida, existentes em obras cujo material, espessura, temperatura e velocidade de aplicação dos esforços sejam iguais às do ensaio. O ensaio do COD também pode servir para calcular K_{IC} se as condições de ensaio, nomeadamente a temperatura e a geometria dos provetes e da fenda, foram os correspondentes a um estado plano de extensões. O ensaio é considerado válido se o valorobtido para K_{IC} for tal que $2{,}5\left(\frac{KIC}{\sigma_c}\right)^2$ seja maior que a espessura do provete e que a profundidade inicial da fenda.

A fig. 4 mostra a instalação experimental utilisada pelo autor.

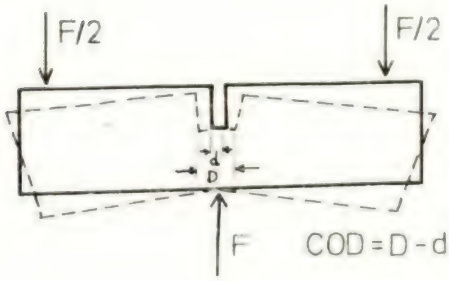


Fig. 2

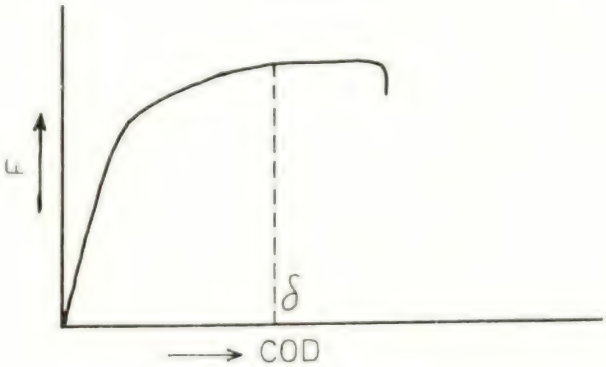


Fig. 3

O ensaio similar ao C. O. D. também pode ser realizado em condições dinâmicas. Neste caso a força é aplicada por choques sucessivos e após cada um é

Fig. 4

medido o deslocamento da abertura da fenda. Este ensaio tem interesse por exemplo quando na construção se admita que um defeito se possa propagar numa zona de pior tenacidade, mas que a propagação seja detida pelo metal não deteriorado que envolva a dita zona; por consequência quando a fenda no curso da sua propagação atinge o metal não afectado, vem animada duma certa velocidade dando origem a um estado de tensões que se procura simular no ensaio dinâmico.

A validade dos cálculos a partir de K_{IC}, portanto em condições de estado plano de extensões é universalmente aceite.

O mesmo não se diz quanto aos cálculos a partir de δ, não obstante já haver confirmações experimentais com ensaios realizados sobre reservatórios cilíndricos e esféricos em verdadeira grandeza. Nestes ensaios praticaram-se fendas nos reservatórios sobre as quais se mediram os valores de δ; verificou-se haver boa concordância entre estes valores e os determinados sobre provetes C. O. D.

Os opositores à aplicação imediata do C. O. D. terão provàvelmente em mente os riscos que poderão advir da aplicação imediata, a geomerias e/ou materiais nos quaisainda não tenha sido feita a comprovação com ensaios em verdadeira grandeza. Consideram que os ensaios COD e os cálculos que neles se baseiam deverão ser mais desenvolvidos. Entretanto preferem utilizar para ensaio placas soldadas de grandes dimensões (ex. 1 a 2 m de largura) e com defeitos artificiais; os critérios de aceitação correspondentes são simples e intuitivos, pois consistem em verificar se a ligação soldada aguenta uma deformação plástica global de 1 a 2% sem que a fenda se propague. No entanto o ensaio ao contrário do que sucede com o COD é caro.

Pode dizer-se que entre o ensaio empírico da resiliência e os ensaios racionais da mecânica da fractura se situa o ensaio das placas de grandes dimensões.

Este artigo tem por principal objectivo chamar a atenção para a existência destes movimentos e para a necessidade de os acompanharmos.

vamos
ser ainda
mais
conhecidos
!

O certo é que contribuimos para que um sem número de produtos e serviços básicos vos cheguem às mãos eficientemente.

A luz eléctrica, o gás, a gasolina, os óleos, o aço, o cimento, o papel e até o próprio avião estão de certa forma ligados à nossa empresa. É que ajudamos a construir e a criar indústrias e serviços de base.

Para o grande público talvez sejamos anónimos, mas para o desenvolvimento industrial do país somos indispensáveis.
E porque servindo eficientemente o país também o servimos a si,
gostaríamos que nos conhecesse melhor.

Sabia por exemplo que construimos um bom bocado da nova Refinaria do Porto?
E doravante quando parar o seu carro numa estação de serviço e meter gasolina ou óleo...
talvez se lembre do nosso nome.

Sepsa

servindo eficientemente o país, também o servimos a si...

Sepsa

SOCIEDADE DE CONSTRUÇÕES ELECTROMECÂNICAS, S.A.R.L.

TELEFS. 951516 (10 LINHAS)
APARTADO, 8 - LEÇA DO BAILIO - TELEX: SEPSA P 2616

Técnica 413 Dezembro de 1971 Ano XLVI Volume XXXIV

C. D. U. 519.283 : 378

VIDA ESCOLAR E ASSOCIATIVA

UMA EXPERIÊNCIA NO ENSINO: INVESTIGAÇÃO OPERACIONAL NO 3.º ANO DO CURSO DE ENGENHARIA CIVIL

por L. VALADARES TAVARES
Master in Operational Research, M. A. (Lancaster)
e
F. LACERDA E MEGRE, J. MOYANO,
P. MATTOS CHAVES, C. GRANGÉ RODRIGUES
A. BORGES e J. TALONE

RESUMO

Atendendo a que é muito reduzida a experiência e a divulgação em Portugal do ensino da Investigação Operacional nos cursos de Engenharia Civil considerou-se oportuno apresentar neste artigo algumas considerações sobre a integração desta disciplina no Curso de Engenharia Civil do I. S. T. com base no trabalho realizado nesta Escola durante os anos lectivos de 70/71 e 71/72.

SYNOPSIS

Somethoughts about teaching Operational Research to undergraduates in civil engineering are presented in this paper. These comments are based on a two-years experience carried out in I. S. T..

1 — Considerou-se com interesse divulgar alguns pontos mais importantes relativos ao ensino da Investigação Operacional no curso de Engenharia Civil por esta inovação(*) apresentar algumas características especiais:

1.º — O ensino de Investigação Operacional tem tido uma divulgação bastante reduzida na Universidade Portuguesa.

2.º — Até 1970/71 a Investigação Operacional não figurava como disciplina em nenhum curso de Engenharia Civil em Portugal. Desde então, apenas no I. S. T., tem funcionado tal disciplina a qual está integrada no 3.º ano da especialidade.

3.º — No estrangeiro é bastante grande a experiência no domínio do ensino de Investigação Operacional ao nível da pós-graduação. Só, porém, recentemente, se tem vindo a desenvolver uma forte tendência no sentido de a incluir no curriculum académico da engenharia ao nível da graduação.

4.º — A Investigação Operacional tem características bastante distintas da maioria das restantes disciplinas dum curso de Engenharia Civil.

Atendendo a estes condicionalismos, a principal preocupação consistiu em «localizar» esta disciplina no curso, definindo os seus objectivos, o que resultou daquilo que se entende por Investigação Operacional, do tipo de preparação que se pretende que o engenheiro civil possua, bem como do conteúdo das disciplinas do curso.

Que se entende, pois, por Investigação Operacional?

2 — Sempre que o homem procura dum modo mais eficaz transformar e utilizar o mundo que o rodeia é inevitàvelmente levado a elaborar e desenvolver não só o conhecimento do real mas também técnicas optimizadoras da utilização dos recursos disponíveis. Estas duas atitudes não podem ser consideradas separadamente pois, de facto,existe entre siuma permanente interacção responsável em grande parte pelo seu progresso. Com efeito, se os modos de actuação sobre o real dependem sempre do grau de conhecimento que dele se possui, também não se pode esquecer que ao ensaiar várias actuações sobre os sistemas que nos rodeiam se obtêm informações preciosas relativamente ao modo como respondem aos nossos estímulos, ou seja conhece-se melhor o seu comportamento e, portanto, o próprio sistema. Quando se percorrem as mais fecundas é pocas da História da Ciêncianão são pouco numerosos os casos em que o desejo de optimizar aplicado aos mais diversos domínios motivam o aparecimento de notáveis manifes-

(*) Esta experiência tem sido realizada sob orientação e com a ajuda efectiva do Prof. Alberto Abecasis Manzanares e do Prof. E. R. Arantes e Oliveira.

tações de espírito criador e inventivo. Como características comuns a tais exemplos pode-se indicar:

a) A directa e intensa relação entre o espírito humano e as necessidades reais.

b) O desejo de melhorar a utilização dos meios disponíveis. Ou seja, uma preocupação relativa ao modo de «operar» sobreo que nos rodeia.

c) O não se encontrar satisfeito com os resultados tradicionalmente obtidos. É, essencialmente, haver uma atitude de busca, de investigação, criticando regras e receitas habituais (não esquecendo as tabelas...) e propondo soluções mais convenientes.

Não é explícita, todavia, muitas dessas vezes, a existência duma definição clara dos seus objectivos, a utilização sistemática dum método comum e é justamente ainda na primeira metade deste século que se intensificam os esforços no sentido de dar unidade às mencionadas investigações através da definição dum método verdadeiramente científico, surgindo assim um nome novo para uma realidade bastante antiga: «Investigação Operacional».

Convém, talvez, referir que surgiu precisamente quando era bem intensa e directa a relação entre o investigador e a realidade, quando era vital o desejo de conseguir optimizar a utilização do disponível: nas forças armadas dos países aliados, durante a segunda grande guerra.

Resultando duma atitude essencialmente de investigação e de preocupação com a operação dos sistemas existentes (e consequentemente com o projecto daqueles que ainda não foram realizados) a Investigação Operacional tem merecido inúmeras definições.(*)

Pode-se, em resumo, dizer que pretende:

a) Analisar sistemas complexos nas suas unidades fundamentais estudando as relações existentes entre si.

b) Construir funções que sintetizem a sua utilidade.

c) Actuar sobre o que há de controlável nesses sistemas de modo tal que essa utilidade seja maximizada.

O seu método (1) tem geralmente as seguintes fases:

a) Formulação do problema.

b) Construção dum modelo que simule o sistema em estudo atendendo ao problema formulado.

c) Análise do comportamento do modelo submetido a variações do que há de controlável no sistema. Obtenção duma solução para o problema proposto.

d) Ensaio do modelo e avaliação da utilidade da solução obtida.

e) Execução e melhoramento progressivo da solução.

Pelo que já foi dito é evidente que a Investigação Operacional se baseia bastante no trabalho de equipes necessàriamente multidisciplinares. A Investigação Operacional não se caracteriza por uma certa classe de fenómenos que pretende estudar (tal como sucede, por exemplo, com Química). A sua especificidade resulta dos seus objectivos e dos métodos que utiliza. As suas aplicações situam-se nos mais variados domínios:

Programação em Construção Civil, Controlo de Sistemas Hidráulicos, Engenharia de Tráfego e Transportes, Planeamento Físico, Engenharia de Produção, Microeconomia, «Marketing», Gestão de Empresas, Sistemas de Distribuição, Logística, Modelos Macro-Económicos, Racionalização das Decisões Públicas, etc..

Refiram-se, como exemplo, alguns dos problemas mais característicos de serem resolúveis pela Investigação Operacional:

1. Pesquiza de Relações Funcionais entre parcelas dum sistema.
2. Previsão da evolução de elementos extrínsicos ao sistema. Situações de Competição.
3. Afectação Óptima de recursos.
4. Análises de pontos de estrangulamento.
5. Estudos de sequênciação e coordenação.
6. Redes de transporte.
7. Controle de existências.
8. Substituíção de equipamento.
9. Análise de Fiabilidade e Segurança.
10 Avaliação de políticas e estratégias de decisão.

Considera-se então que no ensino de Investigação Operacional se deverá insistir nos seguintes aspectos:

a) Desenvolver nos alunos o sentido de crítica dos dados, formulação e equacionamento dos problemas, busca de métodos resolutivos e construção de funções que avaliem a utilidade dos sistemas em etsudo.

b) Criar hábitos e aperfeiçoar os métodos de trabalho em grupo.

c) Ensinar métodos e técnicas de optimização, compreendendo-os e aplicando-os.

3 — Ao conrtário do que por vezes pensa o finalista de engenharia civil é reduzida a perecentagem de engenheiros dessa especialidade que vai, como nota dominante da sua actividade profissional, projectar estruturas que não exijam apenas um razoável domínio de regras e métodos conscientemente aceites. É extremamente elevado, e é cada vez maior, o número dos que se dedicam a funções bem distintas, tais como o Planeamento, a Economia, a Organização e Coordenação de serviços e funções, a Administração Pública e Privada, etc.. Deste

(*) A Sociedade de Investigação Operacional dos E. U. A. (Operations Research Soviety) propõe, no número de Setembro de 1971 da sua revista, a seguinte definição:
— «Investigação Operacional é uma ciência que é destinada a descrever, compreender e prevêr o comportamento de sistemas homem-máquina funcionando em enquadramentos organizados».

modo é bem provável que, para muitos, os pontos a), b) e c) sejam contribuição essencial para a formação de que vêm a necessitar.

Com efeito, nos países em que a Investigação Operacional mais se tem desenvolvido tem havido sempre uma relação muito estreita com o meio e os profissionais da engenharia. Citam-se os resultados obtidos por um inqué rito (2) nos U. S. A. sobre a formação universitária possuída antes de estudar Investigação Operacional:

Matemática	30 %
Engenharia	35 %
«Business»	8 %
Economia	7 %
Química	6 %
Outros	14 %

4 — Como conclusão do que se apresentou, o trabalho nesta disciplina foi estruturado de modo a apresentar duas facetas distintas e complementares:

4.1) Aprendizagem das Técnicas de optimização mais importantes.

4.2) Realização em grupo dum pequeno projecto de Investigação Operacional baseado num caso real.

4.1 — Como sempre, o tempo de ensino disponível é bastante reduzido face às matérias que se pretendem ensinar.

Considerou-se errado ensinar apenas uma ou outra técnica de Investigação Operacional, embora fazendo-o com maior profundidade. Preferiu-se a solução de ensinar os fundamentos e os principais aspectos relativos às técnicas básicas. Deste modo, no ano lectivo de 71/72 foram ensinados os seguintes assuntos:

A — Itrodução, Objectivos e Métodos de Investigação Operacional.

B — Elementos de Teoria dos Grafos. Métodos do Caminho Crítico. Fluxos em Redes (**).

C — Introdução à Teoria dos Processos Estocásticos. Filas de Espera.

D — Métodos de Simulação e Experimentação numérica. Técnicas de Monte-Carlo.

E — Decisão: Certeza, Risco e Incerteza. Análise de Bayes. Situações de Competição.

F — Programação matemática (Linear e Dinâmica).

G — Aplicações.

(**) O estudo de fluxos em redes não foi realizado este ano.

4.2 — Os problemas selecionados para temas de projecto foram:

A — Programação de um empreendimento usando PERT e simulação. Estudo comparativo.

B — Simulação de um porto de mar. Avaliação de benefícios resultantes da alteração de condicionalismos físicos e de normas seguidas.

C — Utilização óptima duma via férrea simples entre duas localidades.

D — Projecto dum sistema de elevadores para imóvel de grandes dimensões.

E — Avaliação de políticas de gestão de existências.

F — Programação do transporte de certo volume de mercadorias entre duas estações de caminho de ferro.

G — Simulação das operações realizadas por gruas em oficinas.

H — Análise dum problema de tráfego.

Julga-se assim que esta disciplina pode permitir uma formação de real interesse para o engenheiro civil. Embora de início os alunos tenham algumas dificuldades no que respeita ao estudo de problemas reais e à matematização dos fenómenos, o seu interesse excepcional tem por vezes permitido obter apreciáveis resultados. Como pontos a melhorar em anos futuros, podem-se indicar os seguintes:

a) Completar e melhorar os elementos de estudo redigidos em português.

b) Tornar disponível na biblioteca do I. S. T. bibliografia de Investigação Operacional.

c) Melhorar o acompanhamento dado aos grupos de trabalho e definir mais temas de estudo.

d) Aumentar a colaboração com outras disciplinas da especialidade permitindo alguma continuidade nos trabalhos de aplicação.

e) Oferecer aos alunos a possibilidade de optar entre diversas aplicações na parte final da disciplina.

BIBLIOGRAFIA

1 — ACKOFF, R., e SASIENI, — «Fundamentals of Operations Research», Wiley Int.

2 — C. C. SCHUMACHER and B. E. SMITH, — «A Sample Survey of Industrial Operations Research Activities II, Operations Research, 13, 1023 - 1027 (1965).

FEIRAS, CONFERÊNCIAS, EXPOSIÇÕES E CURSOS NO MUNDO

OBJECTIVO E PROGRAMA	LOCAL, DATAS, ORGANIZAÇÃO INFORMAÇÕES
Incidence des Ordinateurs Sur La Physique	Geneve, 10-14 Abril - 72 Cern, 1211 Geneve 23, Suisse
Creep Strenght in Steel and High - Temperature Alloys	Sheffield, 11-12 Abril - 72 39 Victoria St., London S. W. 1, Inglaterra
Technologists for Metallurgical Industries	Scarborough, 11-13 Abril - 72 17 Belgrave Sq., London S. W. 1, Inglaterra
Conference on Industrial Measurement and Control by Radiation Techniques	Guilford, 11-13 Abril - 72 Savoy Place, London WC2R OBL, Inglaterra
Plásticos na Construção do Futuro	Copenhague, 12 Abril - 72 The British Plastics Federation 47 Piccadilly, London W 14 ODN
Fluid Dynamic Measurements in the Industrial and Medical Environments	Leicester University, 12-14 Abril - 72 Disa, 116 College Road, Harrow, Middx, Grã-Bretanha
Metal Surfaces: Examination Technics and Their Application	Guilford, 13-14 Abril - 72 17 Belgrave Sq., London S. W. 1, Inglaterra
Organização da Produção. Aprovisionamento e Gestão de Stocks	Lisboa, 14-15 Abril - 72 INII
56.ª Feira Suíça de Amostras	Basileia, 15-25 Abril - 72
Colóquio sobre os métodos de dosimetria aplicados na agricultura, na indústria, na biologia e na medicina	Praga, 17-21 Abril - 72 Agência Internacional de Energia Atómica
Exposição Internacional sobre Aquecimento, Ventilação e ar Condicionado	Londres, 17-21 Abril - 72 Embaixada Inglesa
Os Processos e as Unidade de Fabricação na Indústria do Petróleo	Lisboa, 17-21 Abril - 72 INII
Planeamento e Controle de Produção	Lisboa, 17-25 Abril - 72 COPRAI
Conference on Trends in on-line Computer Control Systems	Sheffield, 18-20 Abril - 72 Savoy Place, London, WC2R, OBL, Inglaterra
Biennale Française de La Machine-outil et de L'Équipement Mecanique	Paris, 19-27 Abril - 72

Resumo dos artigos publicados na Técnica n.º 413

no XLVI — Dezembro 1971

FERRY BORGES C. D. U. 624.042.8

DYNAMIC LOADS (IN PARTICULAR WIND AND EARTHQUAKE LOADS)

Técnica N.º 413 — XLVI — 12-1971, pág. 117 - 130

Acrescenta-se uma síntese da informação actualmente disponível relativa às principais solicitações dinâmicas que actuam em estruturas de engenharia civil, tais como vento, sismos, tráfego, vibração de máquinas e explosões.
Presta-se particular atenção às solicitações dos dois primeiros tipos mencionados e, para estas, consideram-se os problemas principais de: i) medição das solicitações actuantes; ii) sua idealização analítica e experimental.
Como conclusão e tema de discussão, propõem-se linhas mestras para prosseguimento da investigação neste domínio.

M. BARROSO C. D. U. 624.131.25 : 624.138.51
624.131.25 : 624.131.439.5

CALDAS DE INJECÇÃO À BASE DE CIMENTO

Técnica N.º 413 — XLVI — 12-1971, pág. 152 - 164

Nesta comunicação é apresentado um processo simples de caracterização de caldas de injecção com base em cimento após endurecimento, que permite estimar a sua resistência e, ao mesmo tempo, as suas características antes de presa.
Apresenta-se ainda o problema da resistência ao corte de maciços rochosos fissurados injectados, pondo em relevo a acção da pressão de injecção. Alguns parâmetros envolvidos na resistência ao corte da ligação «rocha-calda de injecção» são postos em evidência por resultados de ensaios, sendo especialmente visada a resistência ao deslizamento após rotura.
Tendo em atenção a importância da acção das pressões, descreve-se um modelo para ensaios de injecções que permite introduzir deformações elásticas em fissuras simuladas e apresentam-se alguns resultados de ensaios.

DUARTE - RAMOS C. D. U. 621.315.611.017.143 : 541.64

SIGNIFICADO DO CAMPO ELÉCTRICO NO ARVOREJAMENTO DE POLIMEROS DEVIDO A UMA HETEROGENEIDADE ELIPTICA E HIPERBÓLICA

Técnica N.º 413 — XLVI — 12-1971, pág. 131 - 141

Calcula-se a distribuição espacial do campo eléctrico em torno de um elipsóide e de um hiperbolóide de revolução através das linhas (superfícies) equipotenciais, que definem a direcção do campo eléctrico, e introduz-se a noção de linhas (superfícies) isocampo para caracterizar a intensidade do campo eléctrico. A comparação da teoria com a experimentação do arvorejamento de polietileno permite interpretar o fenómeno pela acção do campo eléctrico.

SALGADO PRATA C. D. U. 621.791.004.64

PERSPECTIVAS DA EVOLUÇÃO DOS CRITÉRIOS DE ACEITAÇÃO DOS DEFEITOS DE COMPACIDADE EM SOLDADURAS

Técnica N.º 413 — XLVI — 12-1971, pág. 165 - 68 1

Para garantir a segurança das construções metálicas contra o risco de ruptura frágil, os critérios tradicionais de aceitação de defeitos de compacidade podem falhar por defeito e também por excesso.
A mecânica da fractura permite o estabelecimento de critérios correctos que já são aplicados em circunstâncias particulares. A utilização destes novos critérios implica o conhecimento da tenacidade à fractura dos materiais, cuja determinação já é feita no nosso país.

PERES RODRIGUES C. D. U. 624.131.25 : 539.22
624.131.25 : 539.32

ANISOTROPIA DAS ROCHAS. SUPERFÍCIES MAIS PROVÁVEIS DAS TENSÕES DE ROTURA E DOS MÓDULOS DE ELASTICIDADE

Técnica N.º 413 — XLVI — 12-1971, pág. 143 - 152

A presente publicação estuda a anisotropia das rochas, em geral, no que se refere às tensões de rotura e aos módulos de elasticidade. Apresenta as superfícies definidoras dessa anisotropia, assemelhando-se a quárticas fechadas, induzidas a partir de resultados experimentais obtidos em doze direcções. Define quatro coeficientes de anisotropia, apresentando o seu significado físico e interesse prático. Aplica esta teoria a quatro tipos de rochas salientando a sua razoável concordância.

Synopsis of articles published in «Técnica» n° 413

XLVI — December 1971

M. BARROSO U. D. C. 624.131.25 : 624.138.51
624.131.25 : 624.131.439.5

INJECTION MIXTURES BASED ON CEMENT

Técnica N.° 413 — XLVI — 12-1971, p. 152 - 164

This paper presents a new method for the characterization of cement grouts after hardening which allows their qualities of resistance and their properties before setting to be estimated.
The problem of the shear strength of grouted fissured rock masses is also presented, the effects of grouting emphasized. Some results of laboratory tests clearly show the effect of several parameters on the shear strength of the rock-grout bond, the resistance to sliding being especially dealt with. At last due to the importance of pressure effects, a model used for injection tests is described in which an elastic deformation of simulated fissures occurs with grouting pressures, some results being presented.

FERRY BORGES U. D. C. 624.042.8

DYNAMIC LOADS (IN PARTICULAR WIND AND EARTHQUAKE LOADS)

Técnica N.° 413 — XLVI — 12-1971, p. 117 - 130

Present information on dynamic loads, such as those due to wind, earthquake, trafic machinery and blast, in briefly reviewed.
Attention is focused on the first two of the mentioned loads. The main problems considered are: i) measurement of acting loads, and ii) their analytical and experimental idealization.
The general lines along which research is to be continued are suggested as a basis for discussion.

SALGADO PRATA U. D. C. 621.791.004.64

PERSPECTIVES OF EVOLUTION OF CRITERIA OF ACCEPTANCE OF COMPACITY LACKS IN WELDER JOINTS

Técnica N.° 413 — XLVI — 12-1971, p. 165 - 168

To garantee the safeness in the metallic construction against the risk of britle fracture, the traditional judgement about the acceptance of compacity lacks, may fail by unsufficiency and also by excessiveness.
However, correct criteria can be estabilished by the fracture mechanics and these are in use under special circunstances. But the use of these new criteria implies a previous knowledge of the notch toughness of the materials, the evaluation of which is already done in our country.

DUARTE - RAMOS U. D. C. 621.315.611.017.143 : 541.64

THE IMPORTANCE OF ELECTRICAL FIELD DISTRIBUTION BY TREEING OF POLYMERS WITH AN ELLIPSOIDAL AND HYPERBOLICAL ELECTRODE

Técnica N.° 413 — XLVI — 12-1971, p. 131 - 141

We calculate the spatial distribution of electrical field with an ellipsoidal and hyperbolical electrode by means of equipotencial lines (or surfaces), which define the field direction, and the new notion of isofield lines (or surfaces) is introduced to describe the field intensi y. A comparison of this lines with the treeing of polyethylene conduct us to an interpretation of the phenomenon by the electrical field action.

PERES RODRIGUES U. D. C. 624.131.25 : 539.22
624.131.25 : 539.32

ANISOTROPY OF ROCKS. MORE PROBABLE SURFACES OF ULTIMATE STRESSES AND MODULI OF ELASTICITY

Técnica N.° 413 — XLVI — 12-1971, p. 143 - 152

This paper studies the anisotropy of rocks, in general, with respect to the ultimate stresses and moduli of elasticity. It presents the defining surfaces of that anisotropy and compares the closed quartics induced from experimental results obtained in twelve directions. It also defines four anisotropy ratios, presenting their physical significance and practical interest Finally, the paper applies this theory to four types of rock pointing to its reasonable concordance.

BIBLIOGRAFIA

ARTIGOS DE REVISTAS

C. D. U. 512.9

Some new aspects concerning Kriloff and Sobrero functions — *A. Braier*
Bul. Inst Pol. Iasi, *17* (1971), 39

C. D. U. 517

Sur les translations centreés planes — *C. Ionescu—Bujor*
Bul. Inst. Pol. «Gheorghe Cherghiu - Dej», *32* N.° 6/1970, 1/

C. D. U. 517.4/43

On rate of convergence of exponential formulae — *Z.* Ditzian
Bul. Inst. Pol. Iasi, *17* (1971), p. 75

C. D. U. 517.9 : 531

On a criterion of stability of solutions of an N-th order linear diferential equation — *Berezhnol; S. Woleson*
P. M. M., *33*, (1969), 565

C. D. U. 517.946

Series representations for dual laguerre temperatures — *D. T. haimo, F. M. Cholewinski*
Bul. Inst. Pol. Iasi, *17* (1971), p. 103

C. D. U. 518 : 519.28 : 531

A. games problem of correction of motion — *N. N. Krasovskii*
P. M. M. *33*, (1969) 377

C. D. U. 519.4

Quasivector spaces over fields — *Dan Bors*
Bul. Inst. Pol. Iasi, *17* (1971), p. 47

C. D. U. 531.3 : 532.2 : 51

Onset of oscillation in the presence of detonation wave weakening — *G. G. Chernyl*
P. M. M. 33 (1969) 541

C. D. U. 531.39

Some questions in the classical theory of vibrating systems — *P. Lancaster*
Bul. Inst. Pol. Iasi, *17* (1971), p. 125

C. D. U. 532.135

On the Development of cavities in Viscous Bodies — *G. P. Cherepanov*
Jornal of Applied Mathematics and Mechanics, 12-1969, vol. 33 N.° 3 pág. 529

C. D. U. 532.5

Aspectos Teóricos da Drenagem — uma aplicação da teoria hidráulica dos escoamentos porosos — *A. G. dos Santos Júnior*
Rev Ciencias Agron. da Un. de L. M. *4* (1) B (1971) 1

C. D. U. 534 : 629.13

Détermination des caracteristique vibratoires d'une structure a l'aide de L'expression de la Puissance complexe fournie — *Bonneau*
O. N. E. R. A.,5-6/1969, N.° 130, pág. 45

C. D. U. 534.2 : 51

Propagation of Random Vibration in a Rod with nonlinear Properties — *V. A. Pal'mov*
P. M. M., 12-69, vol. 33, N.° 3 pág. 543

C. D. U. 534.2 : 532.135 : 517.5

On propagation of shoch waves in an elasto-plastic medium — *A. D. Chernyshov*
P. M. M., 9-1969, vol. 33, N.° 1, pág. 140

C. D. U. 539.194 : 535.4

Les arcs — en-ciel et les auréoles en diffusion moléculaire — *E. A. Mason, R. J. Munn, F. Smith*
Endeavour, *30*, 1971, pág. 91

C. D. U. 539.31 : 51

On the Behaviour of solution of the first fundamental problem of the theory of elasticity for a long rectangular plate — *V. E. Koval'chuk*
P. M. M., 12-69, vol. 33, N.°3, pág.495

C. D. U. 541

A simple quantitative molecular orbital theory — *W. F. Cooper, G. A. Clark and C. R. Hare*
Jornal of Chemical Education, 4-71, vol. 48, N.° 4, pág. 247

C. D. U. 542 : 543.42 (045) = 40

Remarques sur le procédé d'additin dans l'analyse spectrale — *Tibor Török*
Revue d'Iéna, 1-71, pág. 14

C. D. U. 550.341.2/3/4

Bulietin of the seismographic station — *R. D. Adams — B. S. Godalakrismnan*
University of California — Berkely, 1971, vol. 40, N.° 2 págs. 119-230

C. D. U. 551.482 (679)

Monografia da Bacia do Umbeluzi — *Carvalho, J. D.*
Fomento (Lisboa) 9 (4): 323-334, 1971

C. D. U. 552.1/33 : 552.42

Contribuição para o conhecimento das rolhas hiperalcalinas e alcalinas (gnaisses lastingsiticos) do Alto Alentejo (Portugal) — *C. Torres Assunção e Francisco Gonçalves*
S.Geol Portugal, 1971, vol. 17, N.° 2-3, pág. 187-228

C. D. U. 556.512.23 (469.5)

Análise da Frequência dos Maiores Valores Anuais da Quantidade de Precipitação Diária em Alguns Locais do Ultramar — *Faria, J. M. R.*
Fomento (Lisboa) *9* (3) : 237-270, 1971

C. D. U. 620.193
669.11.620.193

Notas Sobre Corrosão Metálica (Aspectos Gerais e o Caso Particular do Ferro) — *Correia, J. A.*
Fomento (Lisboa) *9* (3) : 203-216, 1971

C. D. U. 621.311 : 61

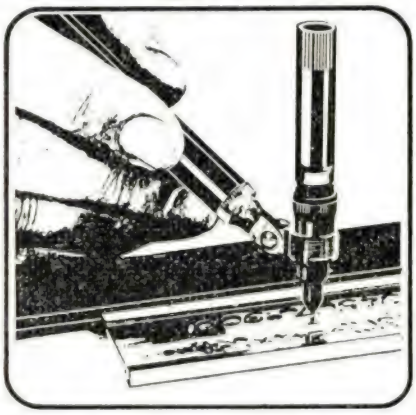
Power Sources in Bioelectrical Engineering — *F. E. Whtteway*
Electronics & Power, 8-1970 vol. 16, N.° 8, 309-313

C. D. U. 621.313.323

Motori Sincroni Trifasi senza Spazzole — *Giuseppe Rinaldo*
Marelli, 3.° Trim 70, vol. 44, N.° 3, pág. 5-46

Fará tudo isto com a nova micronorm da rotring

Traçará conforme as normas



Legendará conforme as normas

Desenhos feitos em vários formatos diferentes poderão ter, depois de ampliados a partir de microfilmagens, a mesma escala e espessuras de traço rigorosamente idênticas. Porquê? Porque as larguras de traço micronorm têm entre elas a relação 1: $\sqrt{2}$ aquela que há entre os vários formatos de papel normalizado para desenho.

Corresponderá a todas as exigências da microfilmagem

Doravante poderá utilizar um só sistema rotring para traçar e legendar: o micronorm. Corresponde às novas normas alemãs DIN 15, 16 e 17, alínea preferencial 1, e conjuntamente com os escantilhões micronorm representa uma orientação para o futuro, por tomar em consideração a microfilmagem de desenhos.

Além disso, micronorm dá-lhe todas as garantias, como qualquer outro produto rotring: conformidade absoluta com as normas, nitidez rigorosa das linhas, ponteiras de duração longa, tubo de escrita rebaixado evitando que a tinta alastre por baixo das réguas, ponteiras permutáveis, sempre prontas para usar (vedação hermética das tampas).

rotring facilita o desenho

À venda nas casas da especialidade

BLOCOS DE ALVENARIA E PAVIMENTO

BETÕES DE ISOLAMENTO E DE ENCHIMENTO

BETÕES RESISTENTES E REFRACTÁRIOS

PRÉFABRICADOS

PAINEIS PAREDE

Leca

Leca

ARGILA EXPANDIDA

O INERTE RESISTENTE, LEVE, ISOLANTE

Leca

ARGILEX S. A. R. L.

Av. António Augusto de Aguiar, 150 F. 2.° E.

Telef. 4 78 62 LISBOA 1

R B RUSTON-BUCYRUS

ESCAVADORAS

GRUAS

SONDAS

GRUA DE LANÇA TELESCÓPICA MOD. 45-RBC CAPACIDA 25 TON.

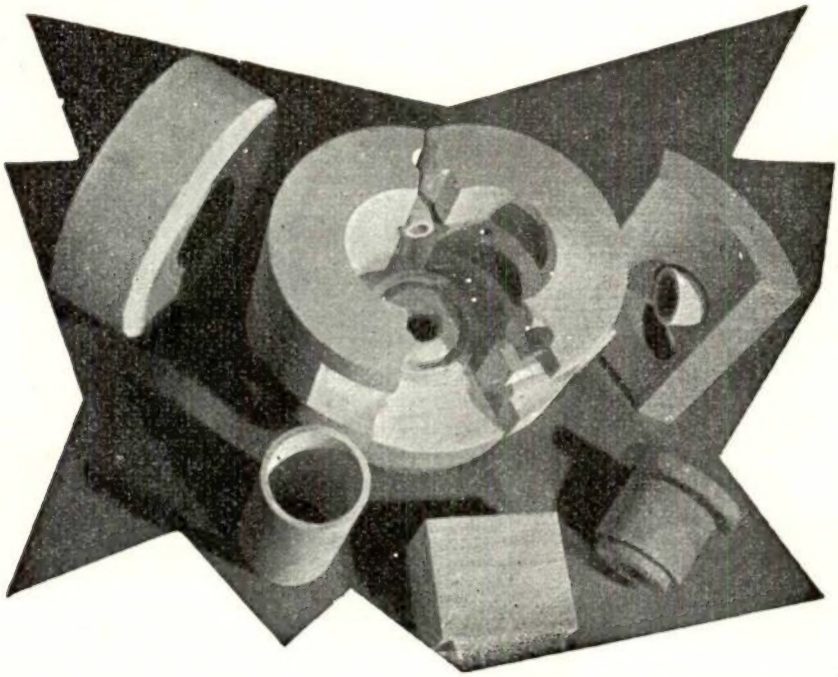
MONTEIRO GOMES, LDA.

Telef. 63 70 83/4/5 (a Alcântara)

Rua Cascais, 47 LISBOA - 3

a técnica moderna emprega

BETÕES REFRACTÁRIOS



à base dos cimentos

FONDU LAFARGE

e

SECAR 250

porque são

práticos
eficientes
económicos

REFRACTÁRIOS ATÉ 1800° C

REFRACTÁRIOS ISOLANTES ATÉ 1700° C

Os nossos serviços técnicos, especializados, estão à vossa inteira disposição para estudar, sem qualquer encargo da vossa parte, a adaptação dos BETÕES REFRACTÁRIOS a todos os vossos problemas

AGUIAR & MELLO L.DA

P. do Município, 13-1.º — LISBOA — Tel. 32 11 51/2

BIBLIOTECA DO DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA MECÂNICA LISBOA
OFERTA

C. D. U. 621.315.61

Sur les Propriétés Diélectriques de quelques Produits Polyesteriques — *V. Cehan et al*
Bul. Inst. Pol. Iasi, *17* (1971), p. 147

C. D. U. 621.23«71» : 625.2«71»

Tendencias del Desarollo de la Técnica Moderna de Vehículos Ferroviários — *Joachim Bauck*
AEG — Telefunken al dia, 1970, N.° 4, pág. 147-149

C. D. U. 621.335.3 : 621.398 : 621.382.233

Locomotoras de Tiristores Teledirigidas para Explotaciones Minerables — *H. Linde e outros*
AEG — Telefunken al dia, 1970, N.° 4, pág. 154-161

C. D. U. 621.373.029.6

UHF F. M. Signal Generator TYPE TF 2012 — *J. M. Hatetie*
Marconi Inst., 1970, vol. 12, N.° 8, pág. 157-158

C. D. U. 621.391

Contributions to the study of decisional informatics — *A. Carabulea, Gh. Rusitoru, Gh. Anton*
Bul. Inst. Polit. «Gheorghe Gheorghin - Deg», *32*, N.° 6 (1970) pág. 133

C. D. U. 621.396.21 : 621.396.73

Testing F. M. Mobile Radio Transceivers — *D. R. Willis*
Marconi Instrumentation, 8-1970, vol. 12, N.° 8, pág. 149-156

C. D. U. 621.396.43.018.424 : 621.371.332.4 : 621.396.666

Establecimiento de un sistema de Radioenlace Transhozonte de Banda Ancha en la Frecuencia de Ghz — *Rudolf Lang*
AEG — Telefunken al dia, 3.° Trim. 1970, N.° 3, pág. 99-103

C. D. U. 621.396.43.018.424 : 621.371.332.4 : 621.396.67

Técnica de las Antenas y de los Filtros para Radioenlaces Transhorizonte de Banda Ancha — *Hans-Dietrica Kühne e outros*
AEG — Telefunken al dia, 1970, N.° 3, pág. 113-116

C. D. U. 621.396.62.029.6

Selectivity Measurements on U. H. F. Narrow Channel Receivers — *B. D. A. Armstrong*
Marconi Inst., 1970, vol. 12, N.° 8, pág. 159-160

C. D. U. 621.51-523

Groupe ELMO, un système de compresseur à commande automatique pour l'industrie chimique — *Bartels, D.; Reinhardt, H.-G.*
Rev. Siemens 28 (1970) N.° 7, pág. 313-319

C. D. U. 621.798.12 : 65.012.2 : 656.2.033

Le transport par containers en tant que problème de planification du service des trains de marchandises — *F. Seeger*
Bail International, 3-71, N.° 3, pág. 331-343

C. D. U. 621.798.12.003.13 (931)

L'usage des containers en Nouvelle-Zélande. Quelques aspects économiques de l'incidence de l'emploi des containers sur le marché des transports en Nouvelle-Zélande, notamment en ce qui concerne les transports de marchandises par voie ferrée — *P. P. Geddes*
Rail International, 3-71, N.° 3, pág. 273-308

C. D. U. 621.867.87-523

Installation de transport pneumatique automatique NW 124 T à commande par boutons — *Eifter, F., Kardinal, H.-J.*
Rev. Siemens 28 (1970) N.° 7, pág. 326-329

C. D. U. 624.131.439 : 539.4.011.25
624.135 : 539.4.011.25

Étude en Grandeur de la Rupture D'un Remblai Sur Vase — *F. Bourges, J. Chiappa, G. Pilot*
Annales do ITBTP, 7-8-971, N.° 283-284, pág. 101-126

C. D. U. 625.24.033 (676) : 656.2.025.4 (676) : 621.798.12 (676)

Chargements unitaires par wagon et wagons à haute capacité de chargement. Trains complets — containers — Rail International, 3-71, N.° 3, pág. 327-329

C. D. U. 626.1 (673)

A Ligação Dondo-Luanda. Aspectos de Navegabilidade. — *Góis, C. Q.*
Fomento (Lisboa) *9* (4) : 299-314, 1971

C. D. U. 629.1.035

Perspectives Actuelles de Développement et D'applications de la Propulsion Ioniques — *Émile le Grivés*
Office National D'Etudes et Recharches Aerospatiales 1969, N.° 149

C. D. U. 66.067.7 : 66.004.8

Treatment of Industrial Effluents — *A. B. wheatland*
Water Pollution Control Engineering, 1969, pág. 75

C. D. U. 666.96

Études Chimiques et par l'analyse aux rayons X sur l'hydratation de la géhlénite vitreuse en présence d' activateurs — *I. Icorcanu, M.ª Georgescu*
Bul. Inst. Polit. «Cheorghe Gheorghiu — Dej», *32* (1970) pág. 6-27

C. D. U. 669.017

Lissage par les moindres carrés. Application aux formes propres d'une structure — *Akamatsu e Darras*
O. N. E. R. A. 6-69 N.° 130, pág. 60

C. D. U. 669.15.24.26 - 194 : 539.538 (045) = 20

Fatigue Endurance of a 12% Chromium Steel in Corrosive Environments — *M. G. Higgins, P. E. Down, A. W. Jones*
Metallurgia, 8-70, vol. 82, N.° 490, pág. 45

C. D. U. 673.3.002.61 (045) = 20

The Effect of Some Processing Variables on the Structure and mechanical properties of sintered bronze — *A. E. S. Rowley, E. C. G. Wasser e M. J. Nash*
Metallurgia, 3-71, vol. 83, N.° 496/7, pág. 41

C. D. U. 725.29

Edifício Mobil — *Júlio Neuparth e outros*
Binário, N.° 153 (6-1971) 333

C. D. U. 725.29 : 69.022.3.002.2

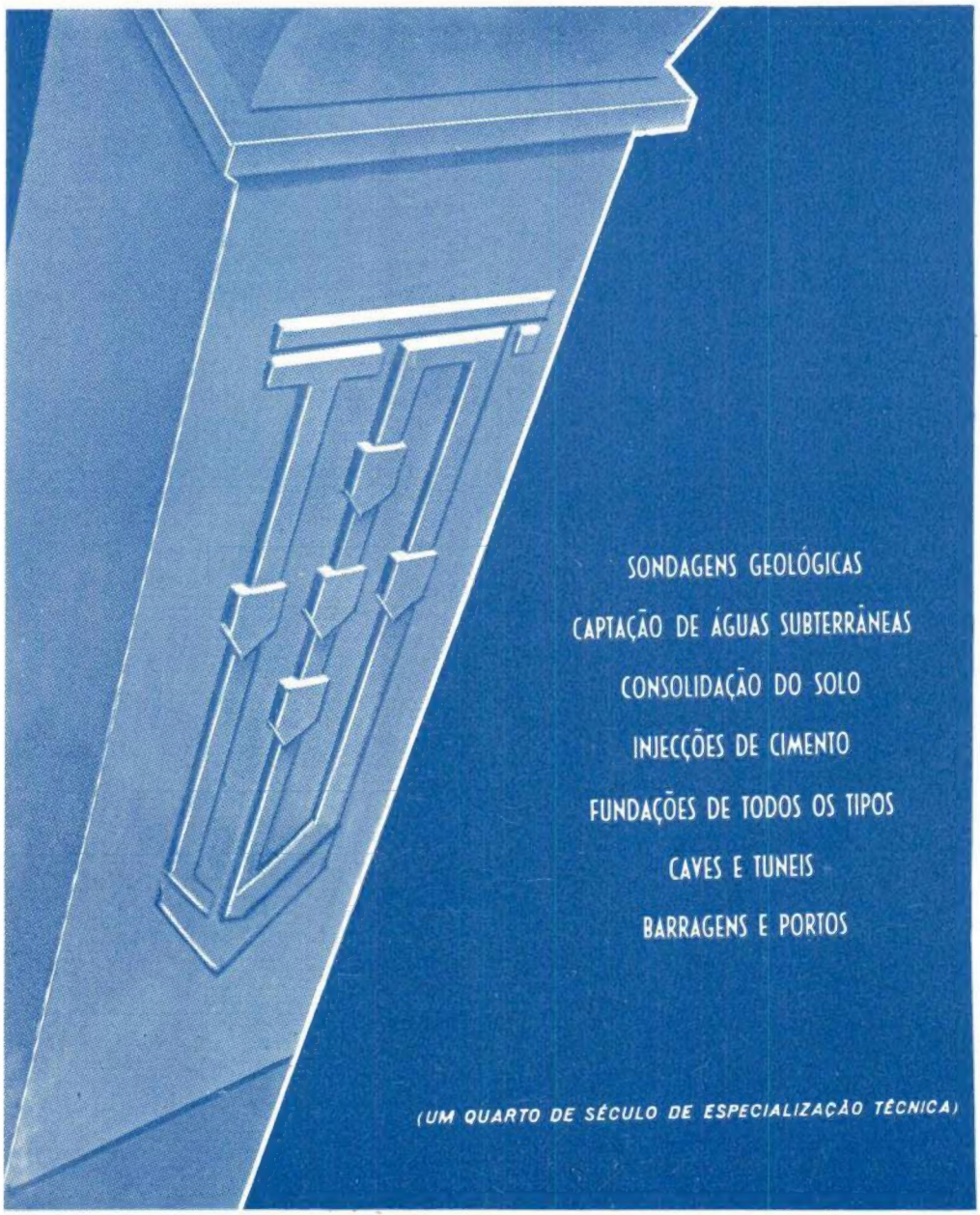
Pré-fabricação da Fachada do edifício Mobil — *A. Duarte Silva*
Binário, N.° 153, (6-1971), 338

Empresa de Sondagens e Fundações

TEIXEIRA DUARTE, L.DA

AV. DA REPÚBLICA, 42, 8.º
TELEFS. 77 70 86/7 e 77 12 65

LISBOA



SIEMENS

Canalizações eléctricas pré-fabricadas de aplicação industrial só com 5 Módulos Básicos (Isoladas ao derredor até 400 A)

O sistema-L 8PL da Siemens é, no mercado europeu, a única canalização eléctrica pré-fabricada de **Polyester reforçado a fibra de vidro** com saidas permutáveis até 400 A.

As vantagens deste Sistema-L capsulado em material isolante saltam à vista:

- Isento de corrosão em Atmosferas agressivas (até "MAK" = máx. concentração no local de trabalho)
- Isolamento de protecção segundo VDE 0660
- Sem manutenção, nenhuma pintura protectora e com uma duração de vida ilimitada
- Tropicalizado, não inflamável e com extinção automática

No sistema-L concentrou-se uma série de possibilidades de aplicação. O resultado torna-se evidente:

- Montagem agradável pelas dimensões e pesos reduzidos
- Sistema modular de aplicação universal
- Elevada liberdade de montagem em prolongamentos e adaptações de serviço
- Projecto simples e económico
- Vantajoso como coluna montante em edificios
- Mudança segura de fusiveis através das caixas de saida com aferrolhamento na tampa

Existências permanentes em armazém

Se deseja conhecer todas as vantagens entre em contacto com

Sistema-L da Siemens